

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL - PPGEC

APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA USANDO A PREDIÇÃO ESPACIAL
DE MONÓXIDO DE CARBONO PELO TRÁFEGO VEICULAR URBANO

Tese submetida à Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC, para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil.

Orientação: Prof^a. Lenise Grando Goldner

GERALCY CARNEIRO DA SILVA

Florianópolis, 2006

APLICAÇÃO DA GEOESTATÍSTICA USANDO A PREDIÇÃO ESPACIAL DE
MONÓXIDO DE CARBONO PELO TRÁFEGO VEICULAR URBANO

GERALCY CARNEIRO DA SILVA

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de Doutor em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.

Dr. Glicério Trichês - Coordenador do PPGEC/UFSC

COMISSÃO EXAMINADORA:

Dra. Lenise Grando Goldner (Orientadora)

Dra. Suzana Kahn Ribeiro (UFRJ)

Dr. Heitor Vieira (FURG)

Dr. Roque Alberto Sánchez Dalotto (UNL-Argentina)

Dr. Luiz Fernando Gonçalves de Figueiredo (UFSC)

Dr. Amir Mattar Valente (UFSC)

***Aos meus incansáveis incentivadores,
Doracy, Ana, Gerson e Guilherme.***

AGRADECIMENTOS

À Fundação Universidade Federal do Rio Grande – FURG e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro dado durante o doutorado.

À Professora Lenise Grando Goldner, pela orientação dada através de discussões, sugestões, críticas, dedicação, cooperação, amizade e atenção que me foram dispensadas para realização desta pesquisa.

Ao Professor Carlos Loch (PPGEC/UFSC), pelas sugestões dadas no projeto de tese.

Aos Professores Márcio Peixoto Siqueira Santos (COPPE/UFRJ), Ismael Ulysséa Neto (ECV/UFSC), Sandra Sulamita Nahas Baasch (ENS/UFSC) e Joel Pellerin (GCN/UFSC), pelas sugestões dadas no exame de qualificação.

Aos Pesquisadores Ian Ridley e Ben Croxford - University College London, que gentilmente cederam, para esta pesquisa, cinco equipamentos de medição de monóxido de carbono e, também, pelo apoio dado desde 1998.

Aos assessores de gestão de pessoas, segurança e meio ambiente Mauro Machado Junior e Iara Catarina da Silva Acunha, da Companhia Petroquímica do Sul – COPESUL (Triunfo/RS), pelo serviço gratuito de calibração dos sensores de medição.

Aos colaboradores David Pedrozo, Rafael Krebs de Souza, Thaís dos Santos Ventura, Ivanilde da Silva, Maurício Martini, pela participação na coleta dos dados.

Aos amigos Antônio Carlos, Gloracy Silva, Antônio Ferreira Gomes, Igor e Steffani Castelo Branco, Eliana Pinho, Gabriela e Mariana Azambuja, Gihad Mohamad, Edna Wernke Niehues, Sônia Weber, Elisiane Kannaben, Marinês Steffen dos Santos, Sálvio José Vieira, Rodolfo Philippi, João, Jussara e Patrícia Silveira, pelos contatos de apoio prestados durante o desenvolvimento desta tese.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas	vii
Lista de Figuras	viii
Lista de Equações	x
Lista de Reduções	xii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	17
1.1. Considerações Iniciais	17
1.2. Objetivos	19
1.2.1 Objetivos Gerais	19
1.2.2 Objetivos Específicos	20
1.3. Justificativa	21
CAPÍTULO II – A ENGENHARIA DE TRÁFEGO E O MEIO AMBIENTE	23
2.1 Considerações Iniciais	23
2.2 Impactos do Sistema de Tráfego no Meio Ambiente	23
2.3 Poluição Atmosférica	31
2.3.1 Estudos Relacionados à Poluição Atmosférica	37
CAPÍTULO III – O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E A GEOESTATÍSTICA	42
3.1 Considerações Iniciais	42
3.2 Sistema de Informações Geográficas	42
3.2.1 Funções de um SIG	44
3.2.2 Base de Dados	45
3.2.3 Base de Dados Ambientais	48
3.2.4 Aplicações do SIG em Poluição Ambiental	49
3.3 Teoria Geoestatística	52
3.3.1 Variáveis Regionalizadas	52
3.3.2 Autocorrelação Espacial	54
3.3.3 Semivariograma Experimental	55
3.3.4 Semivariograma Teórico	56
3.3.5 Semivariograma Cruzado	60
3.3.6 Métodos de Predição Local por Krigagem	61
3.3.7 Krigagem Ordinária	62
3.3.8 Cokrigagem Ordinária	63
3.3.9 Validação de Modelos	65
CAPÍTULO IV – MÉTODO	67
4.1 Características da Área de Pesquisa	67
4.2 Pontos de Estudo	69
4.3 Coleta de Dados	72
4.3.1 Parâmetros de Tráfego	72

4.3.2	Parâmetros Geométricos da Via	73
4.3.3	Parâmetros de Poluição Atmosférica	73
4.4	Sistema de Informações Geográficas	75
4.4.1	Montagem do Banco de Dados	75
4.4.2	Base Cartográfica	76
4.5	Análise Geoestatística	77
4.5.1	Análise Exploratória dos Dados	77
4.5.2	Estrutura Espacial	78
4.5.3	Krigagem e Cokrigagem Ordinárias	79
4.5.4	Validação dos Modelos	79
CAPÍTULO V – ANÁLISE DOS DADOS		81
5.1	Distribuição de Monóxido de Carbono	82
5.1.1	Verificação da Normalidade dos Dados	84
5.1.2	Intervalo de Confiança para a Média	87
5.1.3	Relacionamento Espacial	89
5.1.3.1	Análise de Tendência	89
5.1.3.2	Continuidade Espacial	90
5.1.3.3	Krigagem Ordinária	95
5.2	Distribuição do Tráfego	96
5.2.1	Tráfego de Veículos Leves	96
5.2.2	Teste de Normalidade dos Dados	98
5.2.3	Cokrigagem Ordinária	100
5.3	Validação dos Modelos	106
5.3.1	Validação Cruzada	108
5.3.1.1	Para Krigagem Ordinária	108
5.3.1.2	Para Cokrigagem Ordinária	108
5.3.2	Validação Independente	109
5.3.2.1	Para Krigagem Ordinária	110
5.3.2.2	Para Cokrigagem Ordinária	111
5.4	Retorno aos Dados Originais (Back-transformation)	112
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		115
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		119
ANEXO A - Tabelas Detalhadas		125
ANEXO B - Transformação Logarítmica e Códigos de Programação		130
ANEXO C - Planilhas de Levantamento de Dados		133
ANEXO D - Legislação Ambiental (Federal, Estadual e Municipal)		147

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - O problema da poluição do ar automotivo.

TABELA 2 - O crescimento automotivo no Reino Unido.

TABELA 3 - Brasil – Mudança na população e número de veículos.

TABELA 4 – Passageiros transportados por mês – Abril e Outubro de 1994 a 2003.

TABELA 5 - Componentes do ar não poluído.

TABELA 6 – Emissões de fontes móveis mais comuns.

TABELA 7 - Exemplos de temas ou dados ambientais de interesse regional.

TABELA 8 – Descrição da localização dos pontos de estudo.

TABELA 9: Padrões de qualidade do ar

TABELA 10 – Resumo estatístico das concentrações de CO (ppm) e seus logaritmos.

TABELA 11 – Parâmetros de ajuste dos semivariogramas (simples e cruzado)

TABELA 12 – Resumo estatístico de veículos leves (veic/h) e seus logarítmicos.

TABELA 13 – Matriz de correlação para monóxido de carbono (CO), volume de veículos leves (LEVES), pesados (PESAD), motos (MOTOS) e seus respectivos logaritmos (LNCO, LNLEV, LNPES, LNMOT).

TABELA 14 - Pontos para validação independente.

TABELA 15 – Pontos da vizinhança de V15.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Princípios da hierarquia de distribuição da rede viária.

FIGURA 2 - Características da mistura de ar-combustível.

FIGURA 3 – Posição do ponto 01 na Rua Heitor Luz (Entre Av. Mauro Ramos e R. Jairo Callado).

FIGURA 4 – Fluxo de tráfego no ponto 01- Rua Heitor Luz

FIGURA 5 – Distribuição diária de CO no ponto 01 - Rua Heitor Luz.

FIGURA 6 – Dados Vetoriais (Vector).

FIGURA 7 – Dados Matriciais (Raster).

FIGURA 8 – Teoria das variáveis regionalizadas - principais componentes da variação espacial.

FIGURA 9 - Padrões da correlação espacial.

FIGURA 10 – Exemplo de semivariograma esférico.

FIGURA 11 – Exemplo de semivariograma exponencial.

FIGURA 12 – Exemplo de semivariograma gaussiano.

FIGURA 13 – Exemplo de semivariograma penta-esférico.

FIGURA 14 – Fluxograma do método de predição espacial

FIGURA 15 – Localização dos pontos de estudo no centro de Florianópolis.

FIGURA 16 - Streetbox - Medidor de concentração de monóxido de carbono e a posição de medição no tráfego urbano.

FIGURA 17 – Banco de dados parciais de CO.

FIGURA 18 – Concentração de CO (média de uma hora), com 35 pontos para análise espacial (P) e 8 pontos para validação do modelo (V)

FIGURA 19 – Gráfico de probabilidade normal de CO.

FIGURA 20 – Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para CO.

FIGURA 21 – Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os logaritmos dos dados de CO- β .

FIGURA 22 – Gráfico de probabilidade normal dos logaritmos de CO- β .

FIGURA 23 – Projeções dos pontos de CO nas direções leste(X) e norte(Y).

FIGURA 24 – Logaritmos da concentração de CO em cada estação.

FIGURA 25 – Gráfico de dispersão 3d dos níveis de CO na direção sul-norte.

FIGURA 26 – Gráfico de dispersão 3d dos níveis de CO na direção norte-sul.

FIGURA 27 – Semivariograma de superfície.

FIGURA 28 – Semivariograma empírico dos logaritmos de CO.

FIGURA 29 – Composição dos veículos amostrados.

FIGURA 30 - Emissões relativas de poluentes por tipo de fontes.

FIGURA 31 – Distribuição dos veículos leves por hora, com 35 pontos para análise espacial (P) e 8 pontos para validação do modelo (V).

FIGURA 32 - Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os logaritmos dos volumes de tráfego de veículos leves.

FIGURA 33 – Gráfico de probabilidade normal dos logaritmos dos volumes de de veículos leves.

FIGURA 34 – Predições dos logaritmos das concentrações de CO- β , incluindo os logaritmos dos volumes de veículos leves como variável secundária.

FIGURA 35 – Perspectivas das predições por cokrigagem dos logaritmos de CO- β com vistas aproximadas Shopping-Rodoviária (45°) e Rodoviária-Shopping (225°); Ponte H. Luz-Túnel (135°) e Túnel-Ponte H. Luz (315°).

FIGURA 36 – Erros padrões da predição dos logaritmos das concentrações de CO- β , incluindo os logaritmos de veículos leves como covariável.

LISTA DE EQUAÇÕES

EQUAÇÃO 1 - Valor da variável Z , em x .

EQUAÇÃO 2 - Diferença média entre os valores observados.

EQUAÇÃO 3 - Variância das diferenças.

EQUAÇÃO 4 - Semivariância amostral.

EQUAÇÃO 5 - Modelo esférico ou Modelo de Matheron.

EQUAÇÃO 6 - Modelo exponencial ou de Formery.

EQUAÇÃO 7 - Modelo gaussiano ou Parabólico.

EQUAÇÃO 8 - Modelo pentaesférico.

EQUAÇÃO 9 – Semivariância cruzada

EQUAÇÃO 10 – Modelo geoestatístico básico

EQUAÇÃO 11 - Predição Z de um ponto x_0 .

EQUAÇÃO 12 – Soma dos pesos.

EQUAÇÃO 13 – Esperança do erro.

EQUAÇÃO 14 - Diferença entre o valor verdadeiro e o preditor

EQUAÇÃO 15 – Sistema de krigagem ordinária

EQUAÇÃO 16 - Sistema de krigagem ordinária

EQUAÇÃO 17 – Pesos e o multiplicador de Lagrange

EQUAÇÃO 18 - Variância da krigagem

EQUAÇÃO 19 – Cokrigagem ordinária

EQUAÇÃO 20 - Cokrigagem ordinária

EQUAÇÃO 21 - Estimador da cokrigagem ordinária

EQUAÇÃO 22- Minimização da variância

EQUAÇÃO 23 – Soma dos pesos da variável primária

EQUAÇÃO 24 - Soma dos pesos da variável secundária

EQUAÇÃO 25 – Estatísticas para validação cruzada.

EQUAÇÃO 26 - Estatísticas para validação cruzada.

EQUAÇÃO 27 - Erro médio dos valores preditos.

EQUAÇÃO 28 - Raiz do erro médio quadrático dos valores preditos.

EQUAÇÃO 29 - Erro Médio Padrão.

EQUAÇÃO 30 - Erro Médio Normalizado.

EQUAÇÃO 31 - Raiz do Erro Médio Quadrático Normalizado.

EQUAÇÃO 32 - Coeficiente de correlação de Pearson.

EQUAÇÃO 33 - Índice de concordância.

EQUAÇÃO 34 - Retorno da transformação.

LISTA DE REDUÇÕES

ABREVIATURAS

A/C – Ar/Combustível	Av – Avenida	hab – Habitante
min - Minutos	R – Rua	veic – Veículo

SIGLAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
 ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS
 CECCA – CENTRO DE ESTUDOS CULTURA E CIDADANIA
 CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL
 CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
 CRAN - COMPREHENSIVE R ARCHIVE NETWORK
 DENATRAN – DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO
 DTLR - DEPARTMENT OF TRANSPORT, LOCAL GOVERNMENT AND THE REGIONS
 EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY
 ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE
 FHWA - FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION
 FNMA - FUNDO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE
 GPS - SISTEMA DE POSICIONAMENTO GLOBAL
 IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA
 INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS
 ITE – INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS
 KBES - KNOWLEDGE-BASED EXPERT SYSTEMS
 NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION
 NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS
 SIG – SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
 WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION
 SGBD - SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BANCO DE DADOS
 PROCONVE-PROGRAMA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO DO AR POR VEÍCULOS
 TRRL -TRANSPORT ROAD RESEARCH LABORATORY

UCL - UNIVERSITY COLLEGE LONDON

SÍMBOLOS

a – Alcance do semivariograma

A – Matriz dos valores do semivariograma

ASE - Erro médio padrão

β – Constante igual a 1,767

c – Patamar do semivariograma

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

CV – Coeficiente de variação

d – Índice de concordância de Willmott

dBA – Decibel na ponderação A

$\varepsilon'(x)$ - Termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m(x)$

ε'' - Erro aleatório não correlacionado, com distribuição normal

$\gamma(h)$ – Semivariância em função da distância

$\hat{\gamma}(h)$ – Estimativa da semivariância em função da distância

g_i – Monóxido de carbono

h – Lag (distância)

HC – Hidrocarbonetos

k - Curtose

km² – Quilômetros quadrados

λ - Peso

ln – Logaritmo natural (neperiano)

LNCO – Logaritmos da concentração de monóxido de carbono

LNLEVES - Logaritmos do volume de veículos leves

LNMT - Logaritmos do volume de motos

LNPE - Logaritmos do volume de veículos pesados

MAE - Erro médio absoluto

ME – Erro médio

$m(h)$ - Número de amostras pares numa lag

μg – Micrograma

min – Minutos

MSE - Erro Médio Normalizado

$m(x)$ - Função determinística que descreve a componente estrutural de Z em x

NO_2 – Dióxido de nitrogênio

NO_x – Óxidos de nitrogênio

O_3 – Ozônio

P01 – Ponto um

ppm – Partes por milhão

$\psi(x_0)$ - Multiplicador de Lagrange

r - Coeficiente de correlação de Pearson

RMSE – Raiz do erro médio quadrático

RMSSE - Raiz do Erro Médio Quadrático Normalizado

$\hat{\sigma}^2(x_0)$ - Estimativa de variância da krigagem

s – Desvio padrão amostral

s^2 – Variância amostral

SO_2 – Dióxido de enxofre

SO_x – Óxidos de enxofre

t – Estimador de Sichel para a média da população lognormal

V – Pontos para validação do modelo

VL - Volume de veículos leves

VM – Volume de motocicletas

VP – Volume de veículos pesados

VOC – Componentes orgânicos voláteis

w – Assimetria

\bar{y} - Média

$Z(x)$ – Variável na posição x

$\hat{Z}(x_0)$ - Predição da variável Z na posição x_0

Z_u - Variável primária

$\hat{Z}_1(u)$ - Predição da variável primária

Z_v – Variável secundária

CARNEIRO, Geralcy. Aplicação da Geoestatística usando a predição espacial de monóxido de carbono pelo tráfego urbano. 157 f. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

Orientadora: Lenise Grando Goldner

Defesa: 14/12/06

RESUMO

Esta pesquisa é uma contribuição ao desenvolvimento de trabalhos que aplicam a variabilidade espacial na avaliação de impactos ambientais da poluição do ar gerada pelo tráfego veicular urbano. Selecionou-se o monóxido de carbono para representar a poluição atmosférica por ser emitido por todos os combustíveis veiculares e por indicar a presença de outros poluentes no meio ambiente. O objetivo principal é apresentar um método rápido, preciso e de baixo custo para predição espacial da concentração de monóxido de carbono no sistema viário urbano. Para alcançar tal meta foram coletadas, com aparelhos de alta precisão cedidos pela Universidade de Londres, 43 amostras de CO em pontos obtidos no centro da cidade de Florianópolis, numa área de 1,28 km², simultaneamente, nestes pontos georeferenciados, foram realizadas contagens manuais do tráfego de veículos. O geoprocessamento desses dados foi executado pelo módulo Geostatistical Analyst do programa ArcGIS com auxílio dos programas Statistical Analysis System (SAS), S+SpatialStats e R. Os resultados logaritmizados da estrutura espacial dada pelos exames dos semivariogramas simples e cruzado revelam que existe dependência espacial isotrópica até 320 metros para as observações de monóxido de carbono e para o volume de veículos leves. Estes exames determinaram que as variáveis são regionalizadas, portanto aplicou-se a Krigagem e a Cokrigagem para estimar valores em pontos não-amostrados. Os testes de validação cruzada e independente mostram que o modelo de cokrigagem é adequado para a predição espacial.

Palavras Chave: Tráfego, Meio Ambiente, Monóxido de Carbono, Geoestatística, Florianópolis.

ABSTRACT

This research is a contribution to the development of works that apply spatial variability to environmental impact assessments of air pollution generated by urban vehicular traffic. Carbon monoxide was selected to represent atmospheric pollution as it is emitted by all vehicle fuels and indicates the presence of other pollutants in the environment. The main objective is to present a fast, accurate and low cost method for the spatial prediction of the concentration of carbon monoxide in urban road systems. To achieve this goal measurements of CO were made, with high precision devices, supplied by the University College London, at 43 georeferenced locations in an area of 1,28 km², in the city center of Florianópolis, simultaneously with a manual traffic volume count at these locations. Geoprocessing of this data was performed using the Geostatistical Analyst module of ArcGis, aided by Statistical Analysis System (SAS), S+SpatialStats and R. The logarithmic results of the spatial structure given by examination of the simple and cross semivariogram show, that for the observations of carbon monoxide and the volume of light vehicles, isotropic spatial dependence exists for up to 320 meters. These examinations determined that the variables are regionalized, therefore Kriging and Cokriging were applied to estimate values at non sampled points. The tests of cross and independent validation show that the Cokriging model is appropriate for spatial prediction.

Key-words: Traffic, Environment, Carbon Monoxide, Geostatistics, Florianópolis.

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Desde 1950 a população mundial mais que dobrou, e o número global de carros aumentou por um fator de 10. No mesmo período, a fração das pessoas que vivem em áreas urbanas aumentou por um fator de 4, isto representa quase a metade da população mundial. Aproximadamente 20 regiões urbanas terão, cada uma, populações acima de 10 milhões de pessoas (FENGER, 1999).

Nesse cenário, os problemas de poluição urbana, especialmente a gerada pelo tráfego de veículos automotores, provocam impactos negativos ao meio ambiente (danos materiais, desgaste da vegetação, redução da visibilidade) causando ônus ao Poder Público e riscos à saúde da população que residem nessas áreas. Segundo KLUIJVER (2001), destacam-se os riscos relacionados à poluição sonora: problemas cardiovasculares, perda da audição e distúrbios do sono. JENSEN (2001) também destaca que numerosos estudos indicaram que a exposição à poluição atmosférica aumenta riscos de câncer, infecções respiratórias e alérgicas, além de agravar as condições das pessoas com doenças do coração.

No Brasil, de acordo com a ANTP (1999), o número de veículos tem crescido rapidamente nas últimas décadas: de 430.000 em 1950, o número aumentou para 3,1 milhões em 1970, 25 milhões em 1996 e 43,5 milhões em 2006 (DENATRAN, 2006). A tendência do crescimento da população urbana e da frota de veículos pode agravar mais ainda esta situação. Imaginando-se um crescimento anual de 2,5% da população urbana e de 4% da frota de veículos, pode-se observar que até o ano 2010 poderão ser acrescentados 54 milhões de habitantes e 20 milhões de veículos às áreas urbanas. O grande desafio é como acomodar, com qualidade e eficiência, estes contingentes populacionais adicionais e os deslocamentos que eles farão, considerando que o aumento da frota de automóveis e seu uso crescente tende a agravar os problemas de congestionamento, poluição e acidentes nas cidades.

Florianópolis, segundo o censo demográfico de 2000, tem uma população de 341.781 habitantes (IBGE, 2006a), com estimativa para 01.07.2006 de 406.564 habitantes (IBGE, 2006b). Possui uma frota cadastrada de 190.517 veículos (DENATRAN, 2006). Isto leva a uma relação aproximada de 2,1 pessoas por veículo, a maior média nacional. Esta relação representa um exemplo de cidade de porte médio já com problemas de uso predominante do transporte individual ao invés do transporte coletivo, caracterizando uma situação preocupante para a degradação do meio ambiente.

O próprio autor, na dissertação de mestrado (1998), levantou o volume de tráfego, os níveis de ruído e de monóxido de carbono numa série de pontos nas vias da área central da cidade de Florianópolis e constatou que, na ocasião, o maior fluxo médio de tráfego era de 2.790 veículos por hora, para uma via de pista dupla, com a participação de 8,8% de veículos pesados.

Todos os pontos selecionados e estudados na dissertação tinham níveis de ruído, gerados pelo tráfego, superiores ao valor padronizado para o centro da cidade. Os níveis de monóxido de carbono mantiveram-se inferiores ao padrão estabelecido, explicado pela dispersão favorecida pelos ventos, já que a cidade situa-se numa ilha banhada a leste pelo oceano Atlântico e a oeste pelas baías.

Os níveis sonoros e de monóxido de carbono apresentaram um comportamento equilibrado diretamente relacionado com o fluxo de tráfego (maior fluxo, maior nível de ruído, maior nível de CO) e resultaram na criação de modelos estatísticos para a cidade de Florianópolis: modelos de previsão de poluição sonora e atmosférica para um observador localizado junto à margem da via, a partir do fluxo de veículos leves e pesados.

Esta pesquisa trata de caracterizar a concentração de monóxido de carbono produzida pelo tráfego veicular no ambiente urbano. Como impactos negativos desse poluente podem ser reduzidos controlando-se o volume do tráfego, uma das principais ações de controle é a identificação de áreas críticas de concentração do monóxido de carbono, o

que será possível através das medições “in loco” e das predições espaciais dos locais não amostrados.

Usando a tecnologia SIG podem-se armazenar, recuperar, manipular, simular e representar graficamente os dados georeferenciados de ruas, poluentes, fluxo de tráfego, uso do solo e outros que possam ser cruzados gerando informações (níveis médios, mínimos, máximos, acréscimos, simulações, etc).

A pesquisa vai servir de base para orientar ações públicas que possam corrigir e prevenir os efeitos negativos do problema da poluição gerada pelo tráfego, com benefícios para a área de transporte e melhoraria da qualidade de vida da população exposta.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivos gerais

O principal objetivo desta pesquisa foi predizer espacialmente a concentração de monóxido de carbono gerado pelo volume de tráfego veicular urbano, a partir dos levantamentos dessas variáveis em uma série de pontos da área central da cidade de Florianópolis, realizados de abril a agosto de 2005, produzindo representações espacializadas de predição pelos métodos de krigagem e cokrigagem ordinárias. Os resultados são confirmados pela validação cruzada e independente.

Desse modo, pretende-se fornecer diretrizes aos gestores de cidades brasileiras para respaldar a tomada de decisões, no planejamento ambiental da cidade, quanto à aplicação de medidas mitigadoras dos impactos negativos do monóxido de carbono gerado pelo tráfego, visando benefícios à população, à medida que os modelos desenvolvidos façam o processo de avaliação do meio ambiente urbano com maior agilidade e baixo custo.

Para alcançar esta meta, escolheu-se a modelar o padrão espacial da concentração do monóxido de carbono no meio ambiente urbano considerando:

- a dependência espacial em relação à posição geográfica, e
- a coregionalização entre a concentração de CO e o volume de tráfego.

Assim, espera-se que o presente trabalho forneça referências às pesquisas de impactos ambientais gerados pelo transporte urbano em relação à distribuição espacial da concentração de CO.

1.2.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos, esta pesquisa tem por finalidade:

- Levantar em campo as concentrações de monóxido de carbono e o volume de tráfego de pontos determinados e montar um banco de dados.
- Consultar a condição da concentração de CO em qualquer ponto da área pesquisada.
- Visualizar tridimensionalmente a predição espacial da concentração de CO.
- Determinar as incertezas associadas à predição.
- Validar o modelo de predição espacial.
- Facilitar o uso da geoestatística na investigação de poluição urbana
- Contribuir para formular ações mitigadoras dos impactos negativos causados pelo tráfego urbano.
- Respalidar a tomada de decisões quanto à proteção do ambiente urbano.

1.3. Justificativa

O crescimento indiscriminado da frota de veículos automotores no Brasil e no mundo tem trazido a cada dia novos riscos e prejuízos à saúde da população que, normalmente, desconhecem as características da poluição do meio ambiente e acabam sofrendo as conseqüências desse problema.

Nas grandes cidades do mundo, o tráfego de veículos é a maior fonte de poluição urbana e, em quase a metade delas, é a única fonte importante (WHO, 1992a,b). Essa poluição tornou-se um problema crucial e agora é urgente avaliar e priorizar estratégias de controle, visto que o problema tenderá a se agravar ao longo do tempo, devido às seguintes características:

- a crescente urbanização;
- o crescimento da frota de veículos automotores;
- os altos custos envolvidos no controle da poluição.

Os efeitos desse problema ambiental podem ser estudados sob três amplos títulos (FERRARI, 1988):

- Os efeitos da poluição sobre a saúde física das pessoas;
- Os efeitos dos agentes poluidores sobre a saúde mental das pessoas;
- Os danos materiais à propriedade, causados pela poluição.

O aumento da urbanização, da frota de veículos, da poluição e seus efeitos mostram a importância da pesquisa na questão da poluição gerada pelo tráfego e cujos resultados podem beneficiar a população urbana, possibilitando uma melhor qualidade de vida, especialmente, aos jovens e velhos que são os mais afetados.

Atualmente, muitas pesquisas e estratégias de controle da poluição urbana têm aplicado a tecnologia SIG, como mostra, neste trabalho, a seção 2.2.6 – Aplicações do SIG em Poluição Ambiental. A tecnologia SIG tem tido um enorme impacto em, virtualmente, todos os campos que gerenciam e analisam dados espacialmente distribuídos (JOHNSTON, 2001). Essa tecnologia (poderosa, rápida e eficiente) tem propiciado novos campos de pesquisa, inclusive para os estudos de poluição urbana,

especialmente, os sistemas raster e vetorial. Os sistemas raster são mais aptos para o estudo de dados que variam continuamente no espaço e tendem a ser muito rápidos na avaliação de problemas que envolvem combinações matemáticas de dados em múltiplos planos (modelos ambientais). Os sistemas vetoriais tendem a ser mais orientados para o gerenciamento de banco de dados (armazenamento de dados de mapas).

Em termos mundiais, inclusive no Brasil, os estudos de poluição urbana são realizados a partir de dados de campo levantados com equipamentos sofisticados e de alto custo, sem monitorar o volume de tráfego simultaneamente, como exemplo, pode-se citar as 29 estações automáticas de monitoramento da qualidade do ar da CETESB, em São Paulo, referência para a América Latina.

Outra forma de identificar a poluição urbana, usada pelos pesquisadores norte-americanos e adaptada pelos europeus e asiáticos, é através dos fatores de emissões dos veículos. Estes índices são baixos em países desenvolvidos e altos nos subdesenvolvidos, variam de acordo com o padrão de controle adotado, tanto na produção quanto na inspeção veicular, ou seja, não devem ser usados em regiões diferentes. Então as pesquisas, geralmente, são de comparação dos modelos.

Em Florianópolis não existem pesquisas relacionadas à distribuição espacial ou variabilidade do monóxido de carbono gerado pelo tráfego. Portanto, acredita-se que esta pesquisa pode contribuir com a redução de custos, rapidez na obtenção de dados (sem o uso de equipamentos) e, conseqüentemente, agilizar as informações para o controle e prevenção da concentração desse poluente urbano.

O fato desta pesquisa não ter sido realizada em nenhuma cidade brasileira, torna o tema inédito no Brasil. Quanto aos estudos no exterior, foram desenvolvidos trabalhos na cidade de Londres por CROXFORD (1998), sem considerar a dependência espacial e o volume de tráfego. Os procedimentos desta pesquisa, desenvolvidos exclusivamente para a finalidade a que se propõe (predição espacial), também contribuem para o seu ineditismo.

CAPÍTULO II – A ENGENHARIA DE TRÁFEGO E O MEIO AMBIENTE

Neste capítulo serão revisados os históricos e os conceitos dos principais elementos que geram a poluição no meio ambiente urbano.

2.1 - Considerações Iniciais

O Institute of Transportation Engineers, fazendo revisões de seus conceitos, em 2000, chegou as seguintes definições sobre Engenharia de Transportes e Engenharia de Tráfego (ITE , 2006):

Engenharia de Transportes – A aplicação de princípios tecnológicos e científicos ao planejamento, projeto, operação, manutenção e gerenciamento de instalações para qualquer modalidade de transporte, de forma a permitir a movimentação de pessoas e bens de modo seguro, rápido, confortável, conveniente e econômico, com um mínimo de interferência no meio ambiente.

Engenharia de tráfego – O ramo da engenharia de transporte que lida com planejamento, projeto geométrico e operações de tráfego de redes viárias, terminais, áreas adjacentes e o seu relacionamento com outros modos de transportes motorizados e não-motorizados.

2.2 – Impactos do Sistema de Tráfego no Meio Ambiente

Segundo PIGNATARO (1973), os princípios da engenharia de tráfego são enraizados na história antiga. Os registros indicam que muitos destes princípios foram utilizados em Roma. Por exemplo, ruas de sentido único, estacionamentos especiais para que as carruagens ficassem fora da via. Os veículos foram proibidos de entrar nos distritos empresariais das grandes cidades do Império Romano durante certas horas do dia por

causa dos congestionamentos de tráfego. É provável que muitas regras e regulamentos similares de tráfego eram necessários para controlar o fluxo veicular nas ruas pavimentadas da Babilônia em 2000 AC. As modernas ilhas de tráfego e as rotatórias têm suas origens nos monumentos e praças públicas erguidas nas vias dos séculos passados. Os pavimentos eram usados já em 1600 DC em uma via da Cidade do México que tinha incorporado uma linha de centro de cor contrastante.

Em 1876, Nikolaus Otto desenvolveu o primeiro motor de ignição por centelha e, em 1892, Rudolf Diesel inventou o motor de ignição por compressão. Desde então, tais motores desenvolvem-se a medida em que aumenta o conhecimento dos processos, novas tecnologias tornam-se disponíveis, surge a demanda por novos tipos e modificam-se restrições ambientais de uso de motores. Estes motores e as indústrias que os desenvolvem fabricam e suportam seu uso, têm uma posição fundamental no que diz respeito à potência, propulsão e energia. Nos últimos anos, observou-se um crescimento explosivo na pesquisa e desenvolvimento de motores e em assuntos como poluição do ar, custo do combustível e competitividade mercadológica (HEYWOOD, 1988).

O primeiro veículo com motor a gasolina disponível ao público geral foi talvez oferecido à venda em 1888, pela Connelly Motor Company de Nova York. O Daimler e o Duryea foram oferecidos à venda em 1891 e 1892, respectivamente. O rápido crescimento do número de veículos motorizados nos Estados Unidos começou a gerar uma espantosa demanda por melhores rodovias. Respondendo a esse interesse público, o governo federal participou da construção de rodovias através do estabelecimento de políticas que afetaram significativamente o desenvolvimento do sistema viário nacional (PIGNATARO, 1973).

Nos primeiros anos do desenvolvimento do transporte, nos Estados Unidos, a preocupação primária era permitir o movimento das pessoas e seus bens de um lugar para outro. Pouca consideração foi dada aos efeitos colaterais de desenvolvimento do transporte no meio ambiente. O recente desenvolvimento de sistemas de ruas, rodovias e auto-estradas não tiveram alguns compromissos com o meio ambiente, especialmente em áreas urbanas. Esta fase foi alcançada agora onde a complexidade

das áreas urbanas exige uma consideração maior do impacto das vias. Outro critério (além da eficiência) subiu em importância o valor e o impacto da melhoria de tráfego: segurança, estética e efeitos no meio ambiente social e físico. Percebendo o significativo impacto que as ruas e rodovias estão dando a cada indivíduo e nas comunidades que vivem, os engenheiros de tráfego devem ter uma preocupação maior com a compatibilidade de ruas, rodovias e o meio ambiente (ITE, 1982).

De acordo com HEYWOOD (1988) o problema da poluição automotiva tornou-se aparente em 1940 em Los Angeles. Em 1952, foi demonstrado pelo Professor A. J. Haagen-Smit que o problema da névoa fotoquímica (smog) é resultado de reações entre óxidos de nitrogênio e compostos de hidrocarbonetos na presença de luz solar. Torna-se claro que o automóvel foi um contribuinte maior da emissão de hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio, como também a primeira causa dos altos níveis de monóxido de carbono em áreas urbanas. Motores a Diesel são fontes significantes de fuligem ou partículas de fumaça, como também hidrocarbonetos e óxidos de nitrogênio. A TABELA 1 mostra a dimensão do problema.

TABELA 1 - O problema da poluição do ar automotivo

Poluente	Impacto	Emissão: fontes móveis (% sobre o total)	Emissões de automóveis		Emissões de Caminhões	
			Veículos não controlad os (g/km)	Redução em veículos novos (%)	Ignição: centelha gasolina (g/km)	Ignição: compres são diesel (g/km)
Óxidos de nitrogênio (NO e NO ₂)	Reagente do smog fotoquímico; NO ₂ é tóxico	40-60	2,5	75	7	12
Monóxido de Carbono (CO)	Tóxico	90	65	95	150	17
Hidrocarbonetos não queimados (HC)	Reagente do smog fotoquímico	30-50	10	90	17	3
Material particulado (fuligem e compostos de HC absorvidos)	Redução da visibilidade; alguns componentes de HC mutagênico	50	0,5	40	Despre- zível	0,5

Fonte: HEYWOOD (1988)

Como resultado desse desenvolvimento, nos anos 60, padrões de emissões para automóveis foram introduzidos primeiro na Califórnia, depois nacionalmente nos

Estados Unidos, Japão e Europa. Foram realizadas substanciais reduções nas emissões de ignição a centelha e nos motores a diesel. O uso de catalisadores no sistema de exaustão de motores com ignição a centelha para controle de emissões e a preocupação com a toxicidade do chumbo (aditivos antidetonantes à base de chumbo) têm resultado no reaparecimento de gasolina sem chumbo na maioria dos combustíveis do mercado.

Além da poluição do ar, os motores de combustão interna são também importante fonte de ruído. Existem várias fontes de ruído do motor: o sistema de exaustão, o sistema de admissão, o ventilador usado para resfriamento e a superfície do bloco do motor. O ruído pode ser gerado pelos efeitos aerodinâmicos, poder ser devido a forças que resultam do processo de combustão ou podem resultar da vibração mecânica por rotação ou movimento dos componentes do motor.

O primeiro automóvel a rodar nas vias Britânicas foi um Benz de três rodas importado do Continente. O ano era 1888. A nova invenção foi impedida de criar raízes durante alguns anos pelas leis de operação de locomotivas (também conhecida como Leis de Bandeiras Vermelhas porque elas exigiam que qualquer veículo rodoviário impelido mecanicamente devia ser precedido por um homem levando uma bandeira vermelha a pé) que tinham sido usadas originalmente para proteger as estradas de ferro da competição rodoviária das carruagens a vapor. Mas em 1896 as Leis foram repelidas, então a importação e a fabricação caseira começaram seriamente a se desenvolver.

No início da guerra de 1914 existiam quase 400.000 veículos em uso na Inglaterra (TABELA 2). Carros privados, ciclomotores, ônibus, táxis, carruagens e veículos de cargas de muitos tipos já tinham sido classificados. Em dois anos, sob tensão da guerra, o veículo de trilha foi provado nos campos de batalha na forma do tanque. Assim, com 30 anos de sua introdução o automóvel mostrou todos os seus passos. Até o presente momento determinou sua consolidação e melhoria, mas sem adicional alcance básico de desempenho. Os números aumentaram continuamente e o automóvel infiltrou-se nos negócios dos países numa extensão que chega a uma revolução social e econômica. (BUCHANAN, 1963).

TABELA 2 - O crescimento automotivo no Reino Unido (1903 a 2001)

Ano	Número de Veículos Licenciados
1903	17.000
1912	245.232
1922	952.432
1932	2.227.099
1952	4.899.914
1962	10.500.000
1996	26.300.000
2001	29.700.000

Fonte: Adaptação BUCHANAN (1963); DTLR (2006)

Com o objetivo de estudar os problemas provocados pelo uso do automóvel (SÁ et al., 1995) e, particularmente suas incidências sobre os diferentes tipos de aglomeração, BUCHANAN (1963) apresentou o trabalho "Traffic in Town", considerado, por MARTINS, (1995), a primeira análise qualitativa e quantitativa da circulação nas cidades. Buchanan desenvolveu o conceito de gerenciamento ambiental que englobava a delimitação de áreas ambientais potenciais com a remoção do tráfego e sua reorganização voltada para os deslocamentos internos de veículos e pedestres (FIGURA 1).

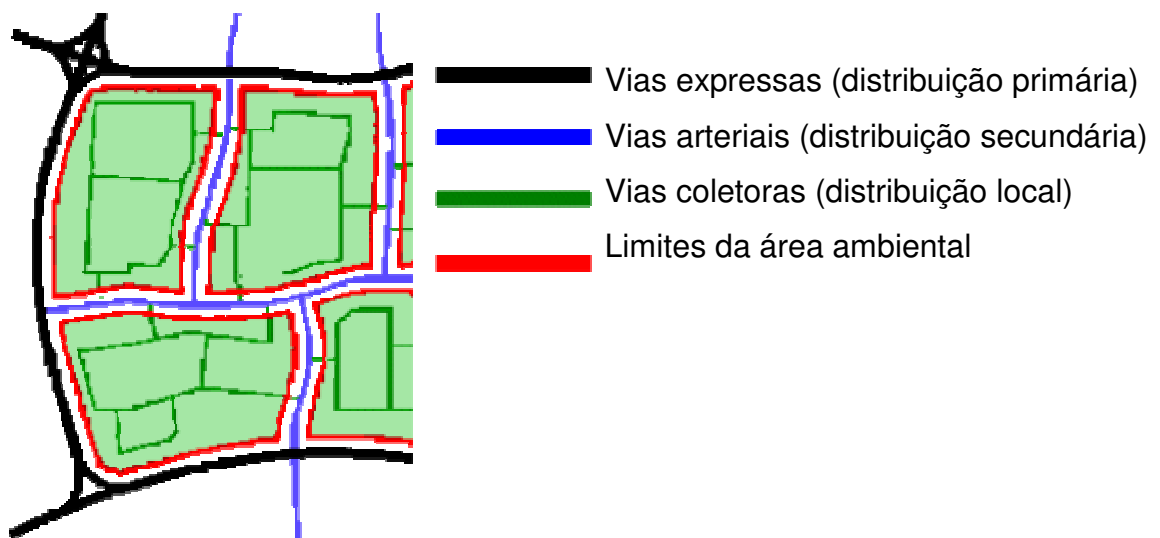


FIGURA 1 – Princípios da hierarquia de distribuição da rede viária.

Fonte: Adaptado de BUCHANAN (1963), p.44.

"Traffic in Towns" identificou três tipos de problemas nas áreas urbanas (FREITAS, 1991):

- Frustração no uso de veículos em consequência dos congestionamentos e dificuldade de acessos;
- Acidentes;
- Deterioração do meio ambiente (problemas relacionados com medo e insegurança, ruído, poluição atmosférica e intrusão visual).

No Brasil, o primeiro automóvel a circular foi importado, em 1893, para a cidade de São Paulo que possuía 200 mil habitantes, por Henrique Santos Dumont, irmão de Alberto Santos Dumont. Era um Daimler inglês, de patente alemã, marca que futuramente ficaria conhecida como Mercedes-Benz, com quatro rodas de borracha, a vapor, com fornalha, caldeira, chaminé e capacidade para dois passageiros.

Em 1897, no Rio de Janeiro, o famoso abolicionista José do Patrocínio também sai pelas ruas dirigindo outro veículo a vapor, desta vez, importado da França. O povo carioca assistia, boquiaberto, ao primeiro passeio de automóvel da cidade. Em 1900, Fernando Guerra Durval desfilava em Petrópolis o primeiro carro de motor a explosão a circular no Brasil: um Decauville de 6 cavalos, movido à benzina. (NOSSO SÉCULO, 1980).

Em 1919, foi instalada em São Paulo a primeira linha de montagem de automóveis, a Ford. E, quando em 1921 a Ford leva a sua linha de montagem para o novo edifício especialmente construído no Bom Retiro, não há tempo para dar conta das volumosas encomendas que procedem de várias partes do território nacional. Nesse mesmo ano já existem em São Paulo 3.845 automóveis: 2.468 carros particulares, 792 de aluguel, 23 carros oficiais, 416 caminhões e 44 com chapa de "experiência" (GONÇALVES, 1966).

Segundo a ANTP (1999), o número de veículos no país tem crescido rapidamente nas últimas décadas: de 430.000 em 1950, o número aumentou para 3,1 milhões em 1970 e 25 milhões em 1995. Na TABELA 3, apresentam-se a evolução da população do Brasil e o índice habitantes/veículo correspondente.

TABELA 3 - Brasil – Mudança na população e número de veículos, 1950 - 2006

Ano	Veículos (inclusive motocicletas)	População (milhões)	Hab/veículo (aproximado)
1950	426.621	51,9	122
1960	987.613	71,0	72
1970	3.111.890	93,1	30
1980	10.731.695	119,1	11
1990	15.932.848	143,4	9
1995	25.336.260	152,4	6
2003	36.646.207	178,7	5
2006	43.578.352	186,4	4

Fonte: ANTP, 1999; IBGE, 2006; DENATRAN, 2006.

Estas mudanças recentes estão ligadas a características específicas do processo econômico do país. O Brasil tem uma das piores distribuições de renda entre os países em desenvolvimento e têm enfrentado nas últimas décadas elevadas taxas de inflação. A queda na inflação a partir de 1995 levou a uma estabilização econômica com impacto imediato na demanda de bens, principalmente entre as camadas de renda mais baixa que tinham sofrido muitas desvantagens no período inflacionário.

Também entre as classes médias, as novas condições permitiram o aumento da compra de automóveis, dado que a indústria automobilística começou a oferecer carros compactos por prestações mensais de 250 dólares e juros relativamente baixos.

Mais ainda, para os estratos de renda mais alta, a antiga proibição de importação de automóveis foi suspensa, levando ao seu rápido crescimento no país. Como resultado destes fatores, a frota de automóveis começou a crescer rapidamente, conforme se observou na TABELA 3. Paralelamente, passou-se a verificar uma queda no uso do transporte público, como mostra a TABELA 4 (NTU, 2006).

TABELA 4 – Passageiros transportados por mês
Capitais brasileiras* - Sistema de ônibus urbanos – Abril e Outubro de 1994 a 2003

Ano	Passageiros/Abril (milhões)	Passageiros/Outubro (milhões)	Diferença média entre os anos (%)
1994	406.5	431.3	
1995	444.6	449.3	6.8
1996	430.3	429.8	-3.8
1997	412.1	429.4	-2.2
1998	383.6	391.8	-7.8
1999	340.6	340.0	-12.2
2000	317.2	325.7	-5.5
2001	294.6	324.6	-3.7
2002	319.8	327.0	4.6
2003	267.0	298.5	-12.6

* São Paulo, Rio de Janeiro, Belo Horizonte, Recife, Porto Alegre, Salvador, Fortaleza e Goiânia. Fonte: NTU (2006).

Estes decréscimos no uso do transporte público, ainda segundo a ANTP (1999), são resultados da redução dos investimentos necessários ao transporte público, da paralisação de obras iniciadas e, em alguns casos, do abandono de sistemas já constituídos que levam à queda no nível de serviço, na contabilidade e na atratividade do transporte público.

Para a NTU (2006), a grande utilização de transporte individual aliada à oferta pontualizada do transporte informal continua influenciando fortemente esses resultados, mas um fato relativamente novo merece destaque: a renda das camadas mais baixas vem caindo ano após ano, o que, sem dúvida, vem causando retração na demanda dos serviços de transportes urbanos. Além disso, os trabalhadores sem carteira já constituem a maioria dos trabalhadores brasileiros, neutralizando o efeito positivo da política do vale-transporte que é restrita apenas aos trabalhadores formalizados.

2.3 – Poluição Atmosférica

A atmosfera que rodeia a Terra é formada de ar (mistura de gases) com espessura aproximada de 560 km. Essa atmosfera tem quatro distintas camadas identificadas pelas características térmicas (mudanças de temperatura), composição química, movimento e densidade (NASA, 2006 e RIBEIRO, 2000), que são:

a) Troposfera – Começa na superfície terrestre e se estende de 8 a 14,5 km de altura. A tropopausa separa a troposfera da próxima camada. A tropopausa e a troposfera são conhecidas como *baixa atmosfera*. Noventa e nove por cento (99%) do ar está localizado na troposfera e na estratosfera. A Troposfera é a região que se vive e é o foco primário dessa tese.

b) Estratosfera – Começa acima da troposfera e se estende a 50 km de altura. A camada de ozônio, que absorve e dispersa a radiação ultravioleta solar, fica nessa camada. A estratosfera com a mesosfera formam a *média atmosfera*.

c) Mesosfera - Começa acima da estratosfera e se estende a 85 km de altura.

d) Termosfera - Começa acima da mesosfera e se estende a 600 km de altura. Essa camada é conhecida como *alta atmosfera*.

Segundo STERN (1984), não existe precisão na composição do ar não poluído. Porém, a composição dos gases do ar seco troposférico das mais remotas regiões dos oceanos, dos pólos, dos desertos e montanhas é dada na TABELA 5. Uma grande quantidade de outros influentes componentes também está presente, como Água (H₂O), “greenhouse” gases ou Ozônio (O₃), Dióxido de Carbono (CO₂) (NASA, 2006).

TABELA 5 – Componentes do ar não poluído

Gás	Porcentagem	Ppm	µg/m ³
Nitrogênio (N ₂)	78,09	780.900	8,95 x 10 ⁸
Oxigênio (O ₂)	20,94	209.400	2,74 x 10 ⁸
Outros	0,97	9.700	-

Fonte: STERN, 1984 e NASA, 2006.

A poluição do ar é definida como a presença de um ou mais poluentes atmosféricos. E poluente atmosférico como toda e qualquer forma de matéria e/ou energia que, segundo suas características, concentração e tempo de permanência no ar, possa causar ou venha a causar danos à saúde, aos materiais, à fauna e à flora e seja prejudicial à segurança, ao uso e ao gozo da propriedade, à economia e ao bem-estar da comunidade (ABNT, 1985).

De acordo com STERN (1984), as fontes de poluição do ar são caracterizadas em:

I. Fontes naturais

Têm causas nas forças da natureza, como tempestades de areia, queimadas em florestas (monóxido e dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio e partículas), atividades vulcânicas (partículas, óxidos de enxofre), plantas (polens, hidrocarbonetos) e oceanos (partículas de sal).

II. Fontes antropogênicas

Têm causas nas atividades humanas, como produção industrial (ferro de minério, gasolina); utilidades (energia elétrica, desperdício); emissão pessoal (automóveis, fornos, fogões e aquecedores residenciais). As emissões antropogênicas são classificadas em fontes fixas e móveis:

a) Fontes Fixas

O processo de emissão industrial é variado e complexo. Estas emissões podem ser controladas com aplicação da melhor tecnologia disponível.

1) Produtos químicos – As emissões dos processos químicos estão relacionados com processos específicos. Uma fábrica de resina pode emitir não somente resina manufaturada, mas também algum outro produto que pode ou não se assemelhar à resina. Uma fábrica de ácido sulfúrico pode emitir fumaça e SO₂.

2) Resinas e Plásticos – As resinas são componentes básicos de plásticos e são também usadas para revestimento de papel e outras superfícies que requeiram uma decoração ou proteção.

3) Verniz e tintas – É necessário o aquecimento para formulação e purificação. As emissões atmosféricas do verniz têm pequeno ou não recuperado valor, enquanto alguns solventes usados na preparação da tinta são rotineiramente condensados. A emissão para a atmosfera é indesejável e pode ser proibida pela agência de controle de poluição do ar.

4) Outras fontes: fabricação de ácido, sabão e detergentes, fertilizantes de fosfato, petróleo e carvão, metais primários, pedreiras e produtos florestais.

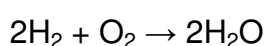
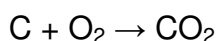
b) Fontes móveis

Segundo STERN (1984) e EPA (2006) “Fontes móveis” é um termo usado para descrever uma grande variedade de veículos, motores e equipamentos que geram poluição do ar e que se movimentam de um lugar para outro. Assim tem-se:

1. Veículos rodoviários – Incluem veículos usados em transporte rodoviário de passageiros ou carga como motocicletas, automóveis e caminhões.
2. Veículos não rodoviários – Incluem veículos e equipamentos a gasolina, diesel ou gás: aeronaves, barcos, locomotivas, equipamentos de construção, serraria, agricultura (colheitadeiras), mineração, industrial (empilhadeiras), comercial (geradores) e recreação.

As fontes móveis consistem então de muitos diferentes tipos de veículos, potentes motores usando diferentes tipos de ciclos, uma variedade de combustíveis e emitindo quantidades variadas de simples e complexos poluentes. A TABELA 6 inclui as fontes móveis mais comuns. Destacando-se o monóxido de carbono, poluente de estudo desta tese, um gás inodoro incolor cuja fonte antropogênica principal é a combustão incompleta de combustíveis orgânicos. É produzido se o ar não for suficiente para sua total combustão.

A simples equação de combustão é muito comum e dada por:



Esta produz os produtos dióxido de carbono e água, que são invisíveis e sem cheiro. O problema com a reação de combustão ocorre porque o processo também produz muitos outros produtos, que são chamados de poluentes do ar. Estes podem ser: monóxido de carbono, óxidos de enxofre, óxidos de nitrogênio, fumaça, metais, aldeídos, ácidos, hidrocarbonetos e muito outros.

Teoricamente, segundo GODISH (1991), a combustão completa ocorrerá quando a relação ar-combustível (A/C) for de 15,1:1, ou a relação estequiométrica. A relação atual em modos de operação do veículo pode variar consideravelmente. Antes, as exigências de controle de emissão, eram comuns as relações de 12,5 a 14:1. Estas relações (A/C) ricas provêm da produção de força máxima. Por causa da insuficiência de O_2 , as misturas (A/C) ricas geram grandes quantidades de CO e HCs (FIGURA 2).

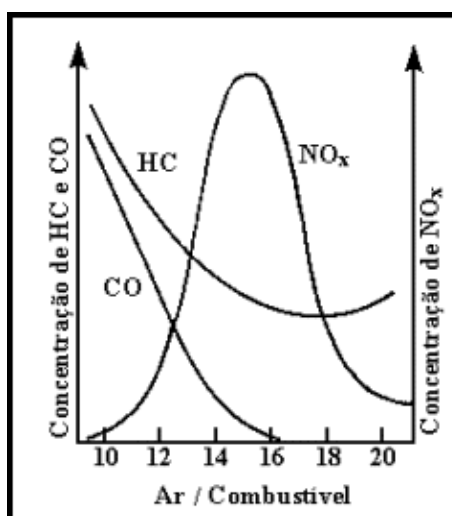


FIGURA 2 - Características da mistura de ar-combustível. Fonte: GODISH, 1991

As principais fontes de emissões de poluentes do setor de transporte são provenientes do escapamento e da evaporação de combustíveis dos veículos automotores do ciclo de Otto. Considerando estes fatos e seguindo uma nova etapa do PROCONVE o CONAMA criou a Resolução 315/2002 (ANEXO D, p.147), estabelecendo limites máximos de emissão de poluentes provenientes do escapamento dos veículos leves de passageiros e comerciais até 2009.

Numa avaliação do PROCONVE, realizada pelo Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), foi constatada que a emissão de monóxido de carbono foi reduzida em 99% nos últimos 26 anos (IBAMA, 2006). Até 1980, a emissão de veículos leves novos era de 54 g/km de monóxido de carbono. Em 2006, essa taxa caiu para 0,3 g/km. Os principais responsáveis, por esta taxa, são a substituição do carburador pela injeção eletrônica e a introdução do catalisador como componente obrigatório nos veículos novos.

No entanto, segundo o DENATRAN (2006), a frota brasileira tem 17,9 milhões de veículos com mais de 10 anos de uso. Cada veículo fabricado nos anos anteriores a 1996 chega a emitir, em média, a mesma quantidade de monóxido de carbono lançada de 15 a 180 veículos novos.

O monóxido de carbono combina com a hemoglobina do sangue, produzindo a carboxihemoglobina e, assim, reduz a habilidade do sangue para levar oxigênio. Em concentrações suficientemente altas, o CO é fatal aos humanos. Nas concentrações encontradas no ar urbano, o CO não é fatal, mas pode agravar doenças cardiovasculares e prejudicar funções psicomotoras. O CO é um dos principais poluentes relacionados com o transporte (HOROWITZ, 1982).

TABELA 6 – Emissões de fontes móveis mais comuns

Tipo de ciclo	Combustível	Emissões	Tipo de veículo
Otto	Gasolina	HC, CO, Nox	Automóveis, caminhões, ônibus, aeronaves, marinhos, motocicletas, tratores
Dois Tempos	Gasolina	HC, CO, NOx, partículas	Motocicleta, motores de popa
Diesel	Diesel	NOx, SOx, partículas	Automóveis, caminhões, ônibus, ferroviários, marinhos, tratores
Gás (jato)	Gás	NOx, partículas	Aeronaves, marinhos, ferroviários
Vapor	Óleo, carvão	NOx, SOx, partículas	Barcos

Fonte: STERN, 1984.

Em São Paulo, em 1968, a CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, surgiu com a missão de controlar a poluição das águas. O controle da poluição do ar foi a segunda grande meta da Companhia.

Em 1972, iniciou a avaliação da qualidade do ar através de uma rede de 14 estações medindo os teores de dióxido de enxofre e fumaça. Para controlar as emissões de poluentes industriais a CETESB desenvolveu ações de controle e fiscalização, exigindo a instalação de equipamentos que reduzissem a emissão de poluentes. E, criou a licença de instalação e licença de funcionamento para novos empreendimentos que caracterizassem uma fonte potencialmente poluidora.

Com essas medidas, a CETESB conseguiu reduzir os níveis de poluição provenientes das fontes fixas (indústrias), que hoje são responsáveis pela emissão de apenas 10% dos poluentes presentes na atmosfera. Enquanto a CETESB desenvolvia ações para controlar a poluição industrial, ocorria a expansão da frota de veículos, que compõem as fontes móveis de poluição, e o conseqüente aumento da poluição do ar gerada pelos automóveis (CETESB, 2006).

Para controlar os poluentes veiculares, a CETESB, desenvolveu as bases técnicas para implantar, na década de 80, o PROCONVE - Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores, definindo os limites máximos de emissão para todos os veículos novos, leves e pesados, nacionais e importados. Iniciado em 1989, o PROCONVE atingiu a sua última etapa em 1998, chegando a redução média de 90% na emissão de poluentes, em relação ao início do programa. Um complemento importante para o sucesso do PROCONVE foi a especificação dos combustíveis, uma vez que os novos motores foram desenvolvidos para utilizarem combustíveis "limpos", obtidos a partir da adição de 22% de álcool à gasolina. O Brasil foi o primeiro país a utilizar a mistura que, de imediato, provocou a redução da ordem de 50% na emissão de monóxido de carbono. Ao viabilizar essa mistura, o Brasil conseguiu atingir o mesmo nível tecnológico dos EUA, Europa e Japão, no controle da poluição veicular, porém em metade do prazo.

Para manter os benefícios obtidos com o PROCONVE, a CETESB elaborou, também, as bases técnicas que resultaram no Programa Estadual de Inspeção Veicular Ambiental - PIV tendo por objetivo garantir que os veículos em circulação sejam mantidos conforme as recomendações dos fabricantes e, assim, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar. A proposta é que esse programa seja implantado nos grandes centros urbanos. A obrigatoriedade de manter os veículos regulados, determinada pelo PIV, pode também contribuir para a redução do consumo de combustível, redução dos congestionamentos provocados por falhas mecânicas e, ainda, melhoria da segurança rodoviária.

Ainda segundo a CETESB (2006), os veículos pesados, movidos a óleo diesel, formam uma outra importante fonte de poluição quando estão desregulados. Nessas condições emitem fumaça preta, que são minúsculas partículas de carbono, embebida por substâncias oleosas, que se depositam nas vias respiratórias, irritando as mucosas. Desde 1976, a agência ambiental realiza um programa de fiscalização de fumaça preta, chamado “Operação Caça - Fumaça”, que teve sua ação ampliada em 1995, quando 45% da frota encontrava-se desregulada. A elevação do valor das multas, a realização de vistorias em garagens, o treinamento do pessoal de manutenção das empresas transportadoras, entre outras medidas, fizeram com que em 2000 o índice de desregulagem chegasse a 9,2%.

2.3.1 – Estudos Relacionados à Poluição Atmosférica

Entre os exemplos de estudos sobre o assunto destacam-se os realizados no país por:

FREITAS (1991), na cidade do Rio de Janeiro. Apresentou um método para determinar a capacidade ambiental de interseções urbanas semaforizadas, pesquisando três locais: Tijuca, Meier e Copacabana, trecho de análise igual a 100 m, adaptando as seguintes metodologias para medição do nível de monóxido de carbono: Matzoros (desenvolveu, em Leeds , um modelo computacional que prediz a concentração dos

poluentes atmosféricos devido ao tráfego); TRRL -Transport Road Research Laboratory (modelo de concentração de poluentes).

MARTINS (1996), na cidade de Niterói. Realizou 2.216 entrevistas em diferentes tipologias de uso do solo, com o objetivo de obter taxas de acesso ou de geração de viagens por tipo de uso, além de 400 medições em campo para chegar a um modelo estatístico de previsão da concentração de monóxido de carbono. O modelo explicou 80% dos casos e mostrou-se como ferramenta de grande potencial para ser usada tanto na análise de impactos de legislações edilícias sobre a qualidade do ar quanto na análise de impactos de planos de circulação na alocação de tráfego.

Esta metodologia desenvolvida pressupôs para avaliação ambiental que o uso do solo compromete a qualidade do ar por dois motivos: tanto pela geração de viagens motorizadas (aumentando o número de fontes de emissão nas vias de acesso) quanto pela alteração de superfície topológica das vias e/ou do espaço público (modificando as condições de dispersão atmosférica).

MARTINS desenvolveu novos conceitos e técnicas, dentre eles merecem destaque: o índice Topológico e o Número de Veículos Equivalentes quanto à Emissão de CO, que são parâmetro numéricos associados à capacidade ambiental de vias urbanas.

Dissertação de mestrado do próprio autor (1998), em Florianópolis. Nessa pesquisa foram selecionados 09 pontos da rede viária urbana da cidade (veja a localização do ponto 01 na FIGURA 3), considerando o fluxo de veículos leves e pesados (FIGURA 4), cujos resultados mostram a distribuição diária da concentração de monóxido de carbono gerada pelo tráfego (FIGURA 5). Esses níveis foram obtidos com o medidor posicionado junto ao poste de iluminação pública, operando continuamente, gravando dados médios a cada 10 minutos, distância horizontal entre 0,5 e 1,0 m da via e distância vertical de 1,2 m.



FIGURA 3 – Posição do ponto 01 na Rua Heitor Luz
(Entre Av. Mauro Ramos e R. Jairo Callado).

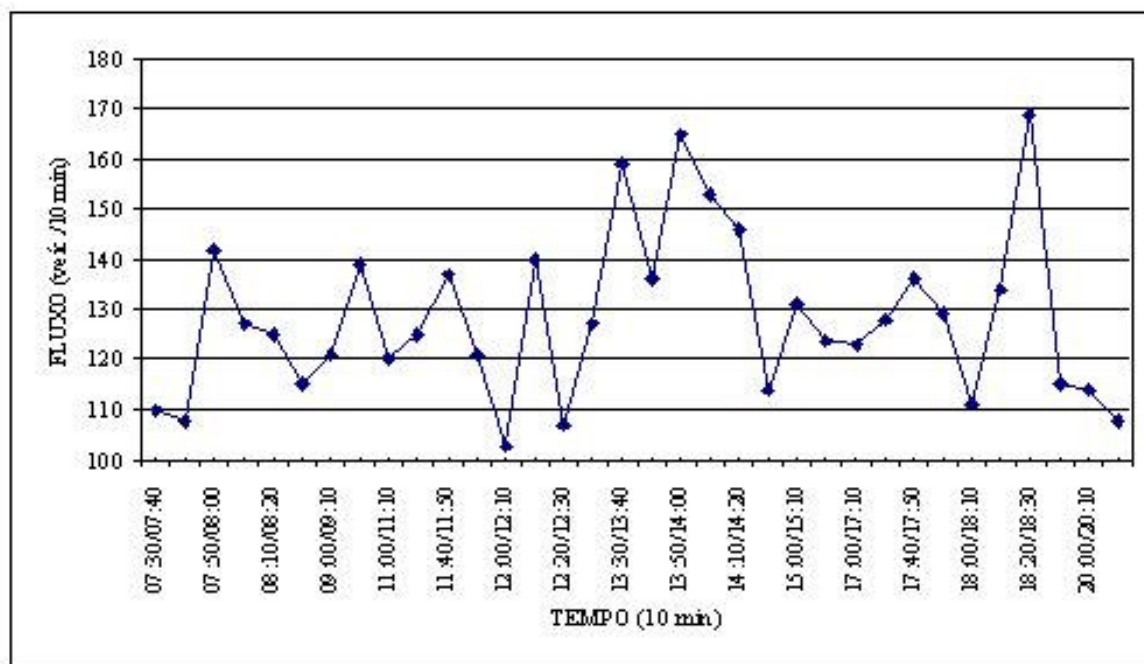


FIGURA 4 – Fluxo de tráfego no ponto 01- Rua Heitor Luz

O ponto 01, apresentado como exemplo, localiza-se à esquerda da Rua Heitor Luz no sentido bairro-centro, antes do semáforo. Neste ponto, a Rua é de mão única com 2 faixas de tráfego e dá acesso, principalmente, ao Shopping Beira Mar e à Av. Mauro Ramos via expressa norte. É uma via arterial com congestionamentos periódicos.

O tráfego apresentou-se regular nos períodos de 7:30 h às 13:10 h e 14:20 h às 18:20 h.

Os picos máximos ocorreram nos períodos de 13:30/13:40 h, 13:50/14:00 h e 18:20/18:30 h com respectivamente 159, 165, 169 veículos a cada 10 minutos.

Este ponto apresentou um fluxo médio no período de 7:30 h às 21:10 h de 128 veículos a cada 10 minutos com um percentual médio de 11,4% de veículos pesados.

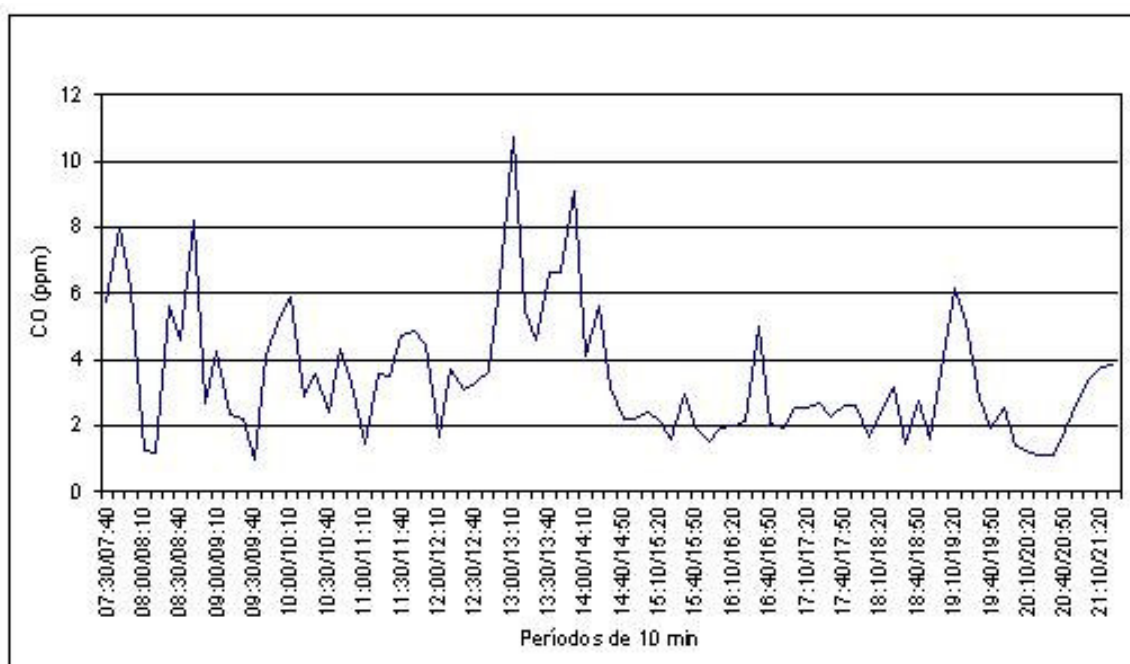


FIGURA 5 – Distribuição diária de CO no ponto 01 - Rua Heitor Luz

A FIGURA 5 mostra que os dois maiores picos da concentração média de 10 minutos ocorreram nos períodos de 13:00/13:10 h (10,7 ppm) e 13:50/14:00 h (9,1 ppm).

A maior concentração média de 1 hora foi de 7,2 ppm, ocorrida entre 13 h e 14 h. Para 8 horas, foi de 4,1 ppm, ocorrida no período de 7:30/15:30 h. Comparando estes níveis com os limites da concentração padronizada, para 1 h (35 ppm) e 8 h (9 ppm), CONAMA (1990), nota-se que os níveis de concentração não foram ultrapassados.

As medidas realizadas no ponto estiveram 80% do período total de medição abaixo de 4,9 ppm.

Resumidamente, pode-se afirmar que as concentrações de monóxido de carbono nos pontos selecionados, embora tenham uma boa correlação com o fluxo de veículos, não ultrapassaram os limites críticos padronizados. Isto pode ser justificado pelo fato da área estar localizada próxima ao litoral onde a dispersão dos gases é favorecida pela velocidade dos ventos.

CAPÍTULO III – O SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E A GEOESTATÍSTICA

Neste capítulo serão abordadas as tecnologias de manipulação de dados e as teorias matemáticas usadas na análise espacial do monóxido de carbono, bem como uma revisão de estudos de casos aplicados à poluição ambiental.

3.1 – Considerações Iniciais

A evolução da tecnologia de processamento de dados geográficos fez surgir vários termos que foram agrupados num conjunto de tecnologias denominado de geoprocessamento.

Segundo CARVALHO (2000), o conceito básico de geoprocessamento engloba diversas tecnologias de tratamento e manipulação de dados geográficos, através de programas computacionais. Entre essas tecnologias, destacam-se: a) Sensoriamento remoto; b) Digitalização de dados; c) Automação de tarefas cartográficas; d) Utilização de Sistemas de Posicionamento Global – GPS; e) Sistema de Informações Geográficas – SIG.

O INPE (2006) faz o seguinte resumo na definição de geoprocessamento: “Representa qualquer tipo de processamento de dados georeferenciados”.

3.2 - Sistema de Informações Geográficas – SIG

O conceito SIG foi desenvolvido originalmente nos anos 60, como um meio de sobrepor e combinar diversos tipos de dados em um mesmo mapa (PAREDES, 1994). Mais especificamente, a partir da criação do primeiro sistema de informação geográfica, o Canada Geographic Information System – CGIS, cuja tarefa inicial foi classificar e mapear os recursos do solo do Canadá (DEMERS, 2000).

A seguir, expõem-se alguns conceitos existentes na literatura atual sobre o Sistema de Informações Geográficas:

Segundo BURROUGH e MCDONNELL (1998) o SIG é definido como um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real para um objetivo específico.

O INPE (2006) define que um SIG processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase a análises espaciais e modelagens de superfícies.

O ESRI (2006) define o SIG como um sistema para gerência, análise e visualização do conhecimento geográfico, que é representado usando conjuntos de informações. Os conjuntos de informações incluem:

- Mapas e globos (avançadas interações com dados geográficos)
- Conjunto de dados geográficos (feições, redes, topologias, atributos)
- Processamento de modelos (automatizar e repetir tarefas)
- Modelos de dados (melhor que um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados - SGBD)
- Metadados (descrição de dados e outros elementos).

O usuário manipula o hardware, que acopla o software, para trabalhar nos dados. Juntos, garantem:

- Informação computadorizada (entrada de dados, digitalização, captação de imagens, entradas pelo teclado, transferência de dados);
- Seleção de dados e consultas (processamento de informação com manipulação da base de dados e funções avançadas de análises matemáticas);
- Visualização de dados (criação de mapas com a capacidade de extração).

O SIG tem habilidade para construir mapas mostrando o que se quer da maneira que se define. O software desenha a integração dos dados: coordenadas geográficas (onde as coisas estão) e os atributos (como e que coisas são), processados de acordo com regras ajustadas pelo usuário. Isto requer um elevado poder computacional, desde que se queira extrair uma infinidade de variáveis das coordenadas em infinitas escalas.

3.2.1 - Funções de um SIG

A tecnologia SIG integra operações convencionais de base de dados, como captura, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados, com possibilidades de seleção e busca de informações (query) e análise estatística, conjuntamente com a possibilidade de visualização e análise geográfica oferecida pelos mapas. Esta capacidade distingue os SIG dos demais Sistemas de Informação e torna-os úteis para organizações no processo de entendimento da ocorrência de eventos, predição e simulação de situações, e planejamento de estratégias (CARVALHO, 2000).

Tarefas e aplicações que resolvem problemas requerem funções (algumas vezes chamada de operações) para fazer uso de um SIG. As principais funções que suportam o uso de um SIG incluem (NYERGES, 1993):

- **Entrada e Captura de dados.** Os dados são convertidos para a forma digital ou adquiridos de fontes digitais. O processo de digitalização envolve o uso de um equipamento para capturar uma amostra ou fenômeno de interesse no mapa. São usados formatos vetor e raster para captura de dados.
- **Armazenamento e gerenciamento de dados.** As funções são focadas caracterizando o estado do ambiente dos dados. Isto é, posição, topologia e atributos dos elementos geográficos (pontos, linhas e áreas) são estruturados e organizados. O programa de computador usado para organizar o banco de dados é conhecido como SGBD.
- **Manipulação e análise de dados.** As funções de suporte de manipulação de dados do SIG referem-se à preparação dos dados para análise de processamento. As funções de análise são concernentes ao desenvolvimento e sintetizações espaciais relacionados com os dados geográficos para produzir respostas. Exemplo: Onde está o objeto A? Onde está A em relação ao B?
- **Visualização e saída de dados.** A função de visualização no SIG refere-se as diversas formas de apresentação como zoom de detalhes, seção de diferentes áreas, mosaicos, perspectivas, contornos, etc. A saída de dados pode ser cópia temporária pelo monitor, cópia impressa por impressora ou plotter, e também gravação digital.

3.2.2 - Base de Dados

A base de dados representa 75% ou mais do total do custo de implementação de um SIG (ARONOFF, 1989). É uma coleção estruturada de dados espaciais e descritivos, tirados do mundo real. Normalmente compreendem três tipos (PAREDES, 1994):

a) - Dados espaciais

Descrevem a localização, a forma e os relacionamentos entre as feições geográficas. São elementos localizados no espaço mediante um sistema predefinido de coordenadas, de atributos (cor, custo, etc) e parâmetros espaciais pelas relações topológicas, e descrevem a união desses dados entre si que pode ser de: adjacência (compartilham limites, exemplo: lotes de terreno), conectividade (ligados uns aos outros, exemplo: rede rodoviária), contingência (incluído em outro, exemplo: um bairro contido num município). Exemplos de dados espaciais:

1. Pontos – acidentes de trânsito, altitude, árvore de rua.
2. Linhas – Estradas, redes de drenagem, linhas de rota.
3. Polígonos – Rodovias, construções, solos.
4. Superfícies – Mapa de declividade, plano de vertentes.

Existem normalmente, duas formas distintas de representar e armazenar dados espaciais de mapas na forma digital: Vetorial (vector) e Matricial (Raster).

Nos **dados vetoriais** as feições são gravadas uma por uma, com a forma que está sendo definida pelos valores numéricos dos pares de coordenadas (x,y).

Um **ponto** é definido por um único par de coordenada. Uma **linha** é definida por uma seqüência de pares de coordenadas que definem os pontos que a linha é desenhada. Uma **área** é definida de maneira similar, somente com o primeiro e o último ponto juntos para fazer um cerco completo.

Os dados vetoriais podem ser comparados a uma lista dos valores (FIGURA 6).

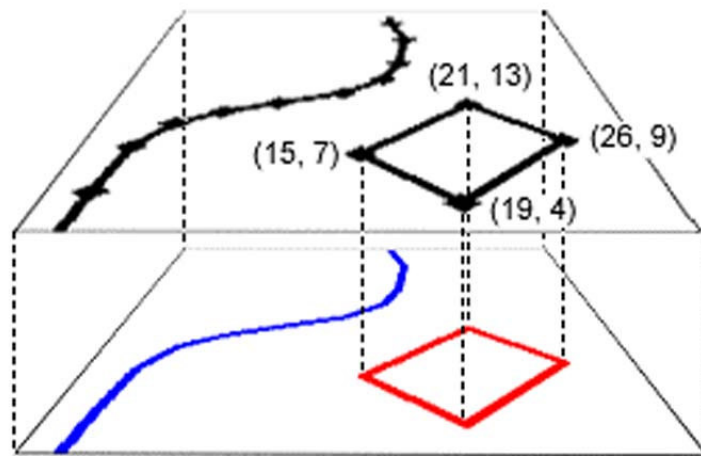


FIGURA 6 – Dados Vetoriais (Vector)

Fonte: HYAM (2003).

Na FIGURA 6, o mapa representa um edifício como um retângulo vermelho. Em dados vetoriais a posição e a forma do edifício são capturadas como uma série de quatro pares de coordenadas numéricas. Para reproduzir o edifício em um SIG o computador lê esses valores e desenha uma linha que liga as posições das coordenadas.

A versão vetor pode também armazenar informação adicional de contexto sobre estas feições – os atributos - um aspecto muito importante (descrito na parte b desta Seção).

Nos **dados matriciais** toda a área do mapa é subdividida em grades regulares, pequenas células (pixel). Um valor é armazenado em cada uma dessas células para representar a natureza do objeto na posição correspondente. A matriz de valores gera a representação raster (FIGURA 7).

Os dados matriciais geralmente são utilizados para processos matemáticos que envolvem dois ou mais dados espaciais ou processamento digital de imagens. Os valores das células se relacionam às cores do pixel da imagem.

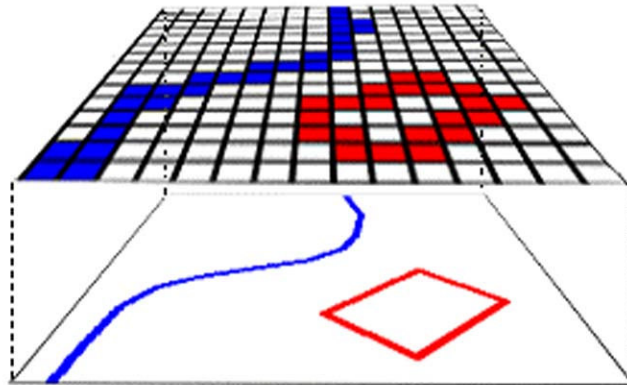


FIGURA 7 – Dados Matriciais (Raster)

Fonte: HYAM (2003).

A FIGURA 7 mostra os registros de dados, a cor da feição que ocupa parte da superfície do mapa; os valores gravados nas células são branco, azul ou vermelho. Para reproduzir a imagem o computador lê cada um destes valores da célula um por um e aplica-os aos pixels da tela.

b) - Dados descritivos

Descrevem as características das feições espaciais. Essas características podem ser quantitativas e ou qualitativas. Segundo CARVALHO (2000), a grande maioria dos SIG utiliza o modelo relacional, em que a estrutura dos dados se dá através de tabelas, onde cada linha corresponde a uma ocorrência e cada coluna corresponde a um atributo da entidade. O modelo orientado a objeto vem se firmando como uma tendência nos programas atuais de SIG. Exemplos de dados descritivos:

1. Formulários – Autorizações, índices, atributos.
2. Relatórios – Planos, regulamentos, descrição legal.
3. Medições de cotas – Ocorrência de acidentes, censos, enquetes.
4. Ilustrações Gráficas – Nomes de ruas, símbolos de objetos.

c) - Dados Temporais

Referem-se ao período ou época de ocorrência do fenômeno ou fato geográfico. Numa abordagem simplificada, o SIG manipula dois tipos de dados principais: geométricos,

que descrevem características do próprio espaço ou características geométricas do objeto; não-geométricos, que descrevem outros tipos de características.

3.2.3 – Bases de Dados Ambientais

As bases de dados ambientais contêm uma enorme diversidade de tipos de dados (TABELA 7). Os conjuntos de dados ambientais são extremamente grandes em volume, especialmente devidos em parte à coleta e manutenção ao nível de macroregiões. O tamanho e complexidade dessas bases de dados requerem necessariamente a aplicação da tecnologia SIG.

TABELA 7 - Exemplos de temas ou dados ambientais de interesse regional

Base de dados	Dados ambientais
Geológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Arquivos de amostras indeformadas de sedimentos 2. Arquivos geoquímicos 3. Dados de levantamentos geográficos 4. Levantamentos geomagnéticos 5. Arquivos hidrogeológicos 6. Características geofísicas 7. Constituição geológica
Ecológicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dados de localização de espécies 2. Características Terra/Solo 3. Localização de lugares de conservação 4. Distribuição de tipos de solos 5. Dados de biomassa
Atmosféricos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Temperatura do ar em diferentes altitudes 2. Pressão do ar em diferentes altitudes 3. Química atmosférica 4. Velocidade do vento 5. Umidade 6. Regiões climáticas
Sócio-econômicos	<ol style="list-style-type: none"> 1. População e assentamentos 2. Agroindústrias 3. Indústrias 4. Construções urbanas e rurais 5. Transporte e comunicação 6. História e evolução 7. Economia regional e agrícola

Fonte: Adaptado de PAREDES, 1994.

3.2.4 - Aplicações do SIG em Poluição Ambiental

Várias ferramentas e técnicas de detecção, mensuração e controle da poluição ambiental têm sido utilizadas por pesquisadores, planejadores e administradores de cidades. Entre elas destaca-se o Sistema de Informações Geográficas – SIG que tem sido amplamente utilizado para fazer planejamento urbano em razão de facilitar o processo de armazenamento, análise e visualização de dados.

Como ferramenta de apoio, além da preparação de mapas, o SIG pode ser usado para monitorar a poluição urbana e, se necessário, desenvolver vias de transporte alternativas para controlar o crescimento da poluição projetada ou tomar outras medidas preventivas.

Entre os autores de trabalhos que aplicam essa tecnologia nas pesquisas de poluição atmosférica destacam-se:

a) - KOUSA et al. (2002), em Helsinque, Finlândia.

Estudaram a variação de espaço e tempo de exposição da população urbana ao NO₂. Usaram um SIG para processar e visualizar os dados do inventário de emissões de fontes móveis (tráfego) e fontes fixas (usinas) da Área Metropolitana de Helsinki que resultou num modelo matemático para determinação da exposição humana à poluição do ar. O modelo desenvolvido com aproximadamente 5000 fontes lineares e 169 fontes pontuais de NO₂ foi projetado para ser utilizado por autoridades municipais no planejamento urbano, por exemplo, na avaliação de impactos de tráfego e uso do solo.

b) - MENSINK et al. (2000), Antuérpia, Bélgica.

Apresentaram um modelo detalhado, com base em fatores de emissões, que prevê emissões de hora em hora para diversos poluentes (CO, NO_x, VOC, SO₂), inclusive materiais particulados. As emissões horárias foram computadas em função do tipo de via, tipo de veículo, tipo de combustível, volume de tráfego, idade do veículo,

distribuição de viagens e temperatura. O modelo do fluxo de tráfego foi implementado em um SIG ambiental.

c) - GUALTIERI e TARTAGLIA (1998), em Firenze, Itália.

Apresentaram um modelo para previsão e avaliação da poluição do ar causada pelo tráfego em áreas urbanas com base na taxa de emissão dos principais poluentes atmosféricos, considerando as condições geométricas e morfologias do local. O modelo é integrado em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) que permite o uso de coordenadas espaciais para descrever a estrutura de áreas urbanas, redes viárias e a distribuição de contaminantes na atmosfera.

Também se destacam os autores de trabalhos que a utilizam a tecnologia SIG para pesquisas de poluição sonora:

d) - LI, B. et al. (2002), em Beijing, China.

Desenvolveram um modelo de predição de ruído de tráfego baseado em padrões ambientais locais, tipos de veículos e condições de tráfego. O modelo teve precisão de 0,8 dBA em locais próximos às vias e 2.1 dBA dentro dos limites residenciais, quando comparado com o modelo FHWA. Um sistema integrado de ruído (SIG) foi desenvolvido para proporcionar funções gerais para modelagem de ruído e ferramentas adicionais para projeto de redução de ruído. Através do SIG foi possível escrever novas interações como questões “IF” e “WHAT”.

e) - KLUIJVER e STOTER (2001), em Utrecht, Holanda.

Neste artigo foi discutida a necessidade de padronização do mapa de ruído para fazer possível comparação. Também foram dadas considerações para desenvolvimento de mapeamento padronizado de ruído. A padronização de estudos do efeito de ruído aumentará quando a metodologia e o nível de detalhe para quantificar os efeitos de ruído forem colocados em diretrizes. Estes procedimentos podem ser implementados em uma aplicação SIG. A intenção é obter um dispositivo definido para quantificar

níveis de ruído, assim os resultados já não variarão com os métodos usados. Assim, tem-se a otimização da qualidade e eficiência de estudos de efeito de ruído em relação à precisão, custo/benefício e incertezas nos resultados.

f) - KLUNGBOONKRONG e TAYLOR (1998), Adelaide, Austrália.

Descreveram os fundamentos teóricos, a estrutura fundamental e a aplicação do SIMESEPT (Spatial Intelligent Multicriteria Environmental Sensitivity Evaluation Planning Tool). O SIMESEPT é uma integração de tecnologias da informação KBES (Knowledge-Based Expert Systems) e SIG (Sistema de Informações Geográficas), Teoria Fuzzy, técnicas multicritérios de decisão e vários métodos de avaliação de impactos ambientais de tráfego. Os resultados do estudo de caso indicam a utilidade potencial da ferramenta para avaliar a sensibilidade ambiental (separada ou composta) da rede viária urbana a nível local, identificam problemas de locações e especificam as possíveis causas de fatores chaves que contribuem para aqueles problemas.

g) - CORREIA e YAMASHITA (2003), Brasília, Brasil.

Criaram um SIG para análise da poluição sonora do fluxo de automóveis. Através de um equipamento específico, medidor de nível sonoro integrado, foram coletados os níveis de emissão de ruído nas vias urbanas durante 15 minutos por período (rush e não rush), cujos valores foram armazenados num banco de dados para posterior manipulação. Os dados geograficamente referenciados permitiram a realização de análises espaciais. Os resultados mostraram que, nos pontos localizados em áreas residenciais, 24 dos 27, apresentaram níveis de ruído acima dos limites permitidos.

Pela observação das pesquisas realizadas, entende-se que existe uma tendência para o uso do SIG. Esta tendência pode ser explicada pelo poder dessa ferramenta fazer sobreposição matemática em diferentes planos de dados para produzir resultado composto.

3.3 – Teoria Geoestatística

Segundo WEBSTER (2001), o engenheiro sul-africano D.G. Krige, na década de 60, observou que, poderia melhorar suas estimativas de reservas de ouro se considerasse a vizinhança. Havia uma autocorrelação, e trabalhou empiricamente para usar essa vantagem. Transformou-se em prática nas minas de ouro. Ao mesmo tempo G. Matheron, um matemático das escolas de mineração da França, teve o mesmo interesse em fornecer melhores estimativas possíveis de dados amostrais autocorrelacionados. Derivou soluções para o problema de estimação da teoria fundamental dos processos aleatórios, que no contexto chamou de teoria das variáveis regionalizadas. Da mineração, a geoestatística espalhou em diversos campos de aplicação, primeiramente na engenharia de petróleo, e então em áreas tão diversas quanto a hidrogeologia, meteorologia, ciência do solo, agricultura, poluição, e proteção ambiental.

3.3.1 – Variáveis Regionalizadas

É uma nova classe de análise estatística que difere significativamente das técnicas da estatística clássica. A fundamental suposição de dados independentes feita na estatística clássica não é válida no âmbito das variáveis regionalizadas. Antes do desenvolvimento da teoria das variáveis regionalizadas, foi um obstáculo superá-la porque todas as teorias e práticas existentes eram estritamente geradas para situações onde os dados fossem independentes (MYERS, 1997).

A teoria das variáveis regionalizadas pressupõe que a variação espacial de uma variável pode ser expressa pela soma de três componentes (BURROUGH e MCDONNELL 1998) abaixo citadas:

- i) Componente estrutural, associada a um valor médio constante ou a uma tendência constante;
- ii) Componente aleatória, espacialmente correlacionada; e

iii) Ruído aleatório ou erro residual.

Seja x uma posição em uma, duas ou três dimensões, então o valor da variável Z , em x , é dada pela EQUAÇÃO 1:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon'' \quad (1)$$

onde:

- $m(x)$ é uma função determinística que descreve a componente estrutural de Z em x ;
- $\varepsilon'(x)$ é um termo estocástico, que varia localmente e depende espacialmente de $m(x)$;
- ε'' é um erro aleatório não correlacionado, com distribuição normal, média zero e variância σ^2 .

As FIGURAS 8a e 8b ilustram as três componentes principais da variação espacial. A FIGURA 8a representa uma componente determinística que varia abruptamente e a componente determinística da FIGURA 8b representa uma tendência constante.

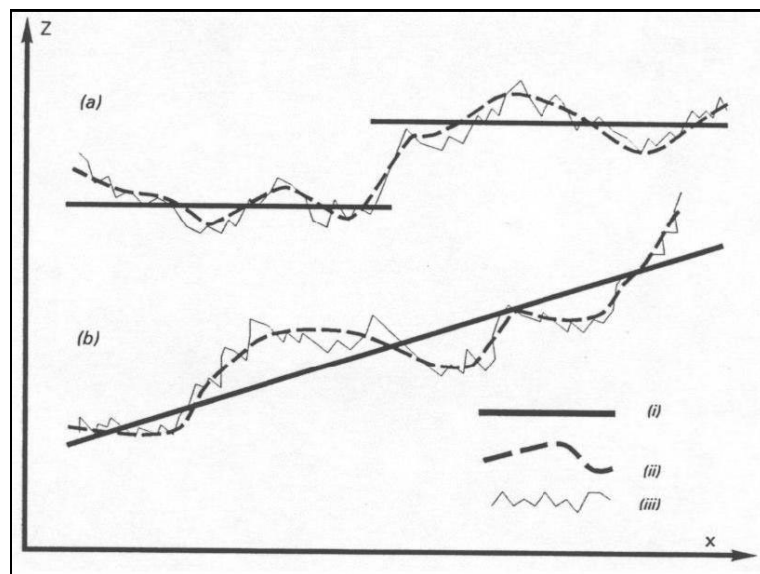


FIGURA 8 – Teoria das variáveis regionalizadas - principais componentes da variação espacial. Fonte: BURROUGH e MCDONNELL (1998)

3.3.2 - Autocorrelação Espacial

A primeira lei da geografia, formulada por TOBLER (1970), declara que todas as coisas são parecidas, mas as coisas mais próximas se parecem mais que coisas mais distantes. A autocorrelação espacial é a medida formal que mede o grau de proximidade e distância das coisas que estão relacionadas. A FIGURA 9, usa a representação quadriculada para descrever os três tipos de autocorrelação espacial (LONGLEY, 2001):

- Autocorrelação espacial positiva, ocorre quando as características que são similares na posição também são similares nos atributos;
- Autocorrelação espacial negativa, ocorre quando as características que são próximas no espaço são dissimilares nos atributos;
- Autocorrelação zero, ocorre quando os atributos são independentes da posição

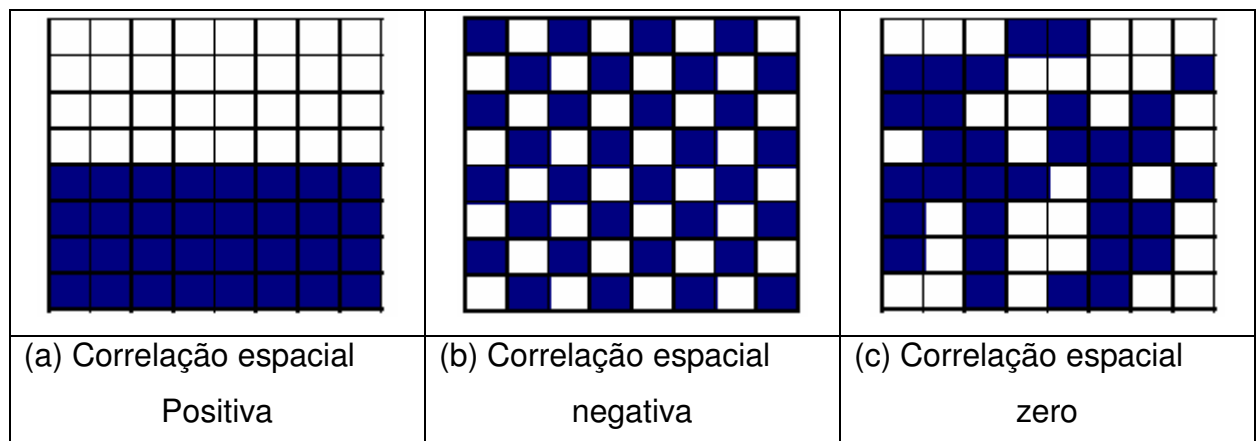


FIGURA 9 - Padrões da correlação espacial. Fonte: LONGLEY (2001)

3.3.3 Semivariograma Experimental

O semivariograma permite o exame da autocorrelação entre os pontos medidos da amostra. Na autocorrelação espacial, supõe-se que as coisas que estão próximas uma das outras são mais semelhantes. Assumindo a estacionariedade, a autocorrelação pode ser examinada e quantificada (JOHNSTON, 2001).

Existem dois tipos de estacionariedade. Uma é chamada de estacionariedade média (média constante entre amostras e independente de localização). A outra é chamada de estacionariedade de segunda ordem para covariâncias e intrínseca estacionariedade para os semivariogramas.

Segundo WEBSTER (2001), a hipótese intrínseca de Matheron é constituída pelas EQUAÇÕES 2 e 3:

- A diferença média entre os valores observados separados por uma distância direcional h é zero (EQUAÇÃO 2):

$$E[Z(x) - Z(x + h)] = 0 \quad (2)$$

- A variância das diferenças depende somente do lag (h) e não da posição absoluta (EQUAÇÃO 3):

$$\text{Var}[Z(x) - Z(x + h)] = E\{[Z(x) - Z(x + h)]^2\} = 2\gamma(h) \quad (3)$$

A quantidade $\gamma(h)$ é conhecida como semivariância do lag (h). Var é a variância.

Se as condições especificadas pela hipótese intrínseca são satisfeitas, a semivariância dos dados amostrais pode ser estimada pela EQUAÇÃO 4 (BURROUGH e MCDONNELL, 1998):

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (4)$$

Onde n é o número de pares dos pontos amostrais separados pela distância h (também chamado de lag). Um gráfico de $\hat{\gamma}(h)$ contra h é chamado de semivariograma amostral, um passo essencial para determinar pesos otimizados para a interpolação.

3.3.4 Semivariograma Teórico

Sendo o semivariograma uma função crescente do módulo do vetor h , tem-se que, à medida que esse módulo aumenta, a variação média entre pares de amostras tende a aumentar, até uma distância a partir da qual tal não ocorre. Essa distância recebe o nome de alcance (range) e é a distância a partir da qual a variação média entre os pares amostrados não depende mais da distância entre os pontos. É o limite entre o estado de dependência e independência espacial entre as amostras; o estado de independência, ou ausência de correlação espacial, é justamente o campo de domínio da Estatística Clássica. A noção de alcance representa a área de influência de uma observação de campo. Essa zona é o campo de interesse da Geoestatística (ANDRIOTTI, 2003).

A altura que o semivariogram alcança quando se nivela é chamada de patamar (sill). O patamar é composto frequentemente de duas partes: uma descontinuidade na origem, chamada efeito pepita (nugget effect), e o patamar parcial (partial sill). O efeito pepita pode ser dividido em erro de medida e variação de micro-escala, desde que um ou outro componente seja zero (JOHNSTON, 2001).

Partindo do conhecimento dos parâmetros básicos que caracterizam um semivariograma, FIGURAS 10 a 13, podem-se examinar os diferentes modelos teóricos que ajustam os semivariogramas experimentais. Segundo CLARK (2000), esses modelos são equivalentes a um *histograma espacial* que precisa ser ajustado para resultar numa fórmula algébrica que represente a relação entre os valores a uma distância específica.

Apresenta-se a seguir um pequeno conjunto dos modelos mais usados no ajuste dos semivariogramas amostrais, incluindo o modelo pentaesférico usado neste trabalho por resultar nos menores índices de erros de predição (Capítulo IV, Seção 4.3 – Validação dos modelos).

- Modelo esférico ou Modelo de Matheron - Este modelo apresenta uma diminuição progressiva da autocorrelação espacial (equivalente aumento da semivariância) até certa distância, além da qual a autocorrelação é zero. O modelo esférico é o modelo mais comumente usado (FIGURA 10). É representado pela EQUAÇÃO 5 (patamar c, alcance a):

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left\{ \frac{3h}{2a} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right\} & : h < a \\ c & : h \geq a \end{cases} \quad (5)$$

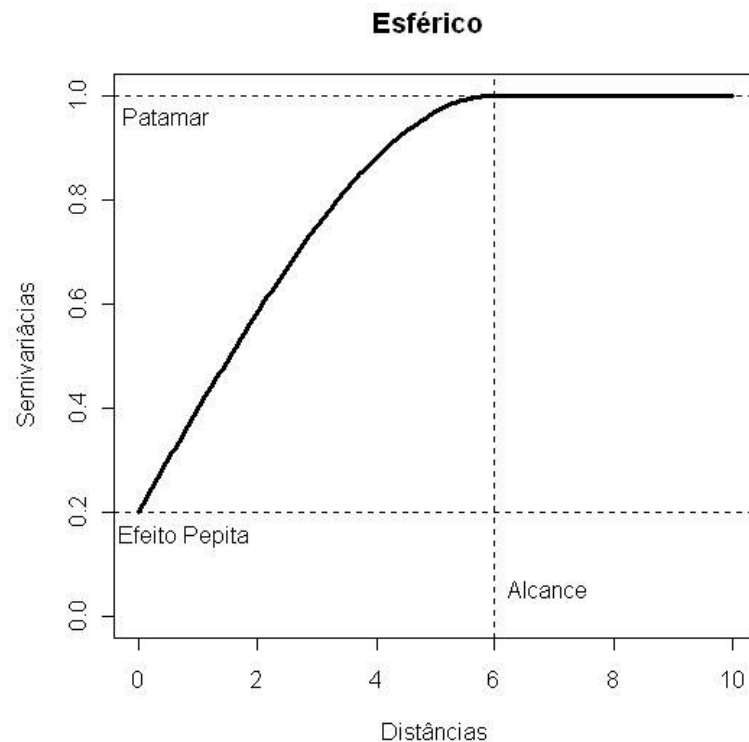


FIGURA 10 – Exemplo de semivariograma esférico.

- Modelo exponencial ou de Formery - Este modelo é aplicado quando a autocorrelação espacial diminui exponencialmente com a crescente distância, desaparecendo completamente somente numa distância infinita, FIGURA 11. O modelo exponencial é também comumente usado e representado pela EQUAÇÃO 6 (patamar c, alcance efetivo 3a):

$$\gamma(h) = c \left(1 - e^{-\frac{h}{a}} \right) \quad (6)$$

Se o alcance efetivo for estimado em 120, o parâmetro a é igual a 40.

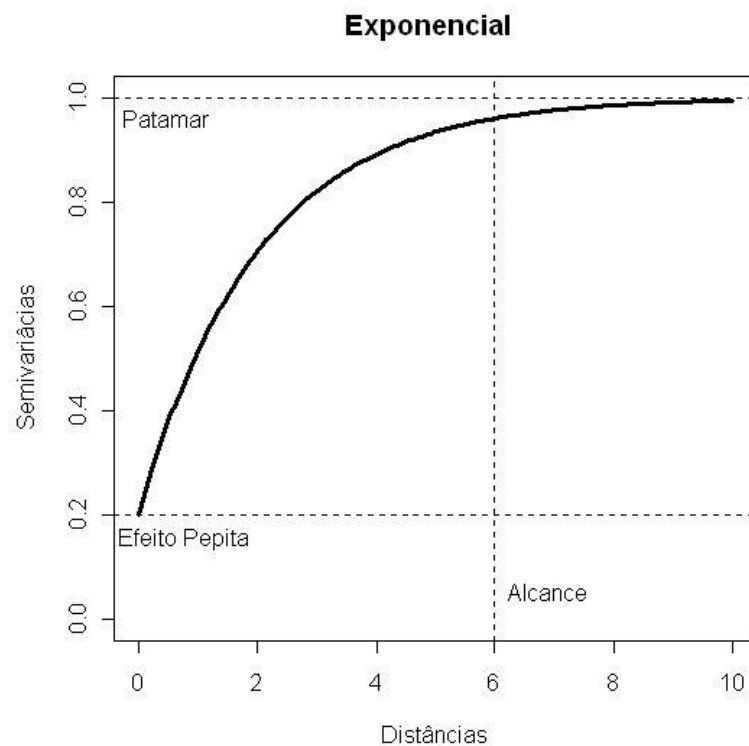


FIGURA 11 – Exemplo de semivariograma exponencial.

- Modelo gaussiano ou Parabólico – Apresenta comportamento parabólico na origem (FIGURA 12). É representado pela EQUAÇÃO 7:

$$\gamma(h) = c \left(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}} \right) \quad (7)$$

Alcance efetivo $\sqrt{3}a$. Se o alcance for estimado em 120, o parâmetro a será de $120/\sqrt{3} \approx 69$.

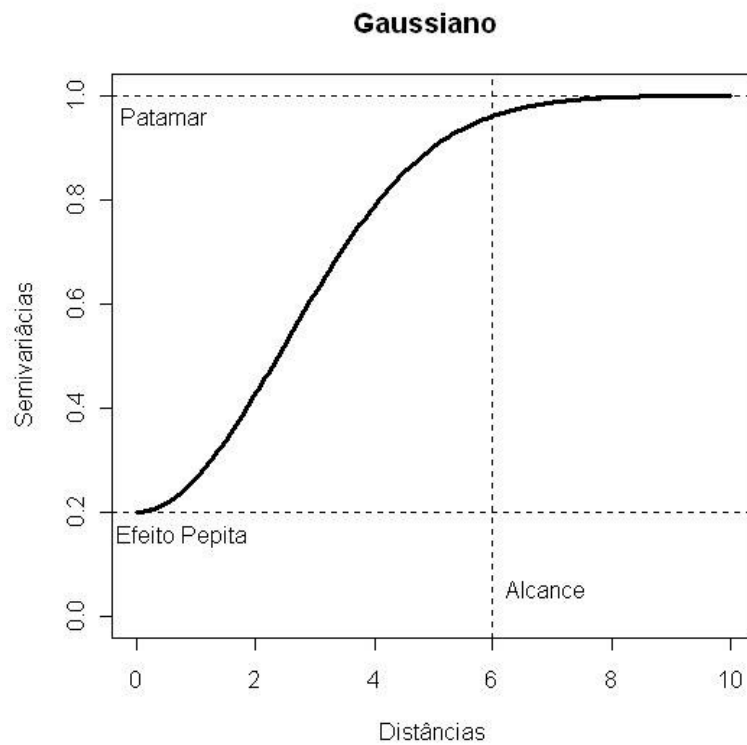


FIGURA 12 – Exemplo de semivariograma gaussiano.

- Modelo pentaesférico – Sua curva é mais gradual do que o modelo esférico, FIGURA 13. Seu gradiente na origem é $15c/8a$ (WEBSTER, 2001). A função pentaesférica é expressa pela EQUAÇÃO 8:

$$\gamma(h) = \begin{cases} c \left\{ \frac{15h}{8a} - \frac{5}{4} \left(\frac{h}{a} \right)^3 + \frac{3}{8} \left(\frac{h}{a} \right)^5 \right\} & : h < a \\ c & : h \geq a \end{cases} \quad (8)$$

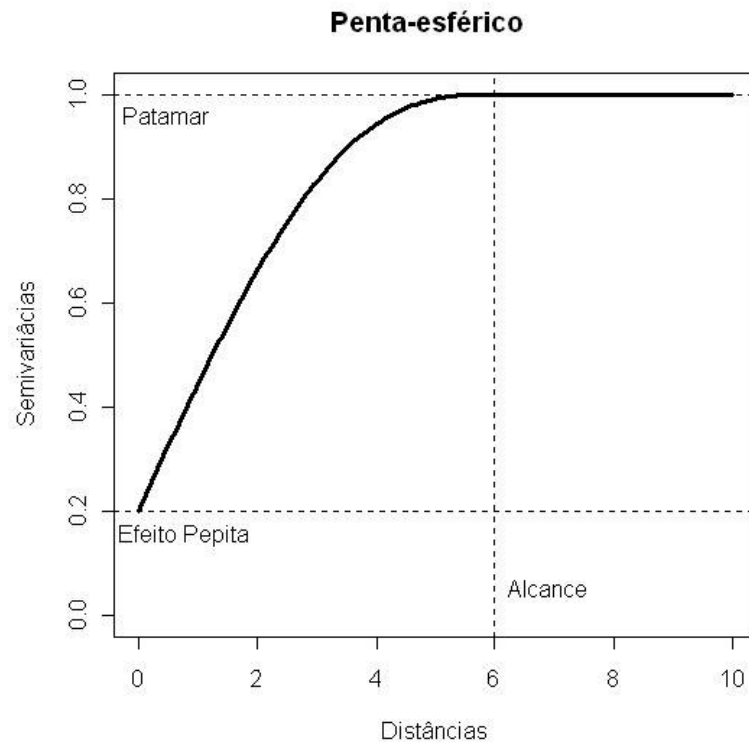


FIGURA 13 – Exemplo de semivariograma penta-esférico.

Os códigos em R que geraram estes modelos de semivariogramas foram adaptados de ROSSITER (2006) e estão no ANEXO B (p.130).

3.3.5 – Semivariograma Cruzado

Os semivariogramas cruzados descrevem a variação espacial de duas variáveis aleatórias correlacionadas, com regras estabelecidas pela correionalização. Assim, considerando-se duas variáveis regionalizadas, $Z_u(x)$ e $Z_v(x)$, o semivariograma cruzado pode ser estimado pela EQUAÇÃO 9 (WEBSTER, 2001):

$$\hat{\gamma}_{uv}(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i=1}^{m(h)} [Z_u(x_i) - Z_u(x_i + h)][Z_v(x_i) - Z_v(x_i + h)] \quad (9)$$

Onde Z_u representa a variável primária na localização x_i e Z_v representa a variável secundária na localização x_i . O símbolo $m(h)$ representa o número de amostras pares numa lag.

3.3.6.– Métodos de Predição Local por Krigagem

Segundo GOOVAERTS (1997), a krigagem é um nome genérico adaptado pelos geoestatísticos para um conjunto de algoritmos de regressão de mínimos quadrados generalizados. Todos os estimadores de krigagem são variantes do estimador básico de regressão linear.

JOHNSTON (2001), afirma que, os dados geoestatísticos podem ser expressos numa simples fórmula básica (EQUAÇÃO 10) com variações para todos os diferentes tipos de krigagem: ordinária, simples, universal, indicadora e disjuntiva, bem como suas contrapartidas em cokrigagem.

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon(x), \quad (10)$$

Onde $Z(x)$ é a variável de interesse, decomposta em uma tendência determinística $m(x)$, e erros aleatórios autocorrelacionados $\varepsilon(x)$. O símbolo x indica posição no espaço.

Este trabalho limita-se à apresentação da krigagem e cokrigagem ordinárias. A krigagem ordinária para o modelo que quantifica a correlação do monóxido de carbono na dimensão espacial e a cokrigagem ordinária para, além desses parâmetros, adicionar a influência do tráfego na predição espacial do monóxido de carbono. Isto determinará com maior precisão os locais onde se devem tomar providências para diminuir o impacto desse poluente no sistema viário.

3.3.7 - Krigagem Ordinária

De acordo com WEBSTER (2001), a krigagem ordinária é o tipo mais comum de krigagem na prática.

O objetivo da krigagem é prever o valor de uma variável aleatória, Z , de um ou mais pontos não amostrados. Supondo que a média seja desconhecida e considerando uma estimação pontual, então a predição de Z de um ponto x_0 é realizada por uma média ponderada dos dados (EQUAÇÃO 11):

$$\hat{Z}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i), \quad (11)$$

onde λ_i são os pesos. Para assegurar que a predição seja não enviesada, a soma dos pesos deve ser igual a 1 (EQUAÇÃO 12):

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1, \quad (12)$$

e a esperança do erro (predição – valor medido) deve ser zero (EQUAÇÃO 13):

$$E[\hat{Z}(x_0) - Z(x_0)] = 0 \quad (13)$$

Essas limitações asseguram que a diferença entre o valor verdadeiro, $Z(x_0)$, e o preditor, $\hat{Z}(x_0)$, seja a menor possível (EQUAÇÃO 14):

$$\left(Z(x_0) - \sum_{i=1}^N \lambda_i z(x_i) \right)^2 = \text{Menor possível} \quad (14)$$

A solução para a minimização, limitada para não ser enviesada, é dada pelas EQUAÇÕES 15, na forma matricial, ou 16, no sistema de krigagem ordinária:

$$A \quad * \quad \lambda \quad = \quad b, \quad (15)$$

ou

$$\begin{pmatrix} \gamma_{11}\Lambda & \gamma_{1N} & 1 \\ M & O & M \\ \gamma_{N1} & \gamma_{NN} & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ M \\ \lambda_N \\ \psi(x_0) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \gamma_{10} \\ M \\ \lambda_{N0} \\ 1 \end{pmatrix} \quad (16)$$

A matriz A contém os valores do semivariograma modelado entre todos os pares da amostra.

A matriz A é invertida, então os pesos, λ_i , e o multiplicador de Lagrange, $\psi(x_0)$, são obtidos pela EQUAÇÃO 17:

$$\lambda = A^{-1}b. \quad (17)$$

O vetor b contém os valores do semivariograma modelado entre cada localização medida e a localização a ser predita.

E a variância da krigagem é dada pela EQUAÇÃO 18:

$$\hat{\sigma}^2(x_0) = b^T \cdot \lambda \quad (18)$$

3.3.8 – Cokrigagem Ordinária

WEBSTER (2001), afirma que a cokrigagem é uma simples extensão da krigagem em que se leva em conta uma informação adicional correlacionada da variável secundária. Para JOHNSTON (2001), a cokrigagem ordinária assume as EQUAÇÕES 19 e 20:

$$Z_1(x) = m_1(x) + \varepsilon_1(x) \quad (19)$$

$$Z_2(x) = m_2(x) + \varepsilon_2(x) \quad (20)$$

Segundo GOOVARETS (1997), para o caso de uma simples variável secundária Z_2 , pressupondo que as variáveis aleatórias primária e secundária (Z_1 e Z_2) sejam estacionárias numa vizinhança centrada num local u , o estimador da cokrigagem ordinária pode ser determinado pela EQUAÇÃO 21:

$$\hat{Z}_1(u) = \sum_{\alpha_1=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_1}(u) Z_1(u_{\alpha_1}) + \sum_{\alpha_2=1}^{n_2} \lambda_{\alpha_2}(u) Z_2(u_{\alpha_2}) \quad (21)$$

O melhor preditor linear não enviesado é então obtido pela minimização da variância (EQUAÇÃO 22):

$$\text{var}[Z_1(u) - \hat{Z}_1(u)] \quad (22)$$

Para que a estimativa não seja enviesada, a soma dos pesos da variável primária, $\lambda_{\alpha_1}(u)$, deve ser igual a um, e a soma dos pesos da variável secundária, $\lambda_{\alpha_2}(u)$, tem que ser igual a zero (EQUAÇÕES 23 e 24)

$$\sum_{\alpha_1=1}^{n_1} \lambda_{\alpha_1}(u) = 1 \quad (23)$$

$$\sum_{\alpha_2=1}^{n_2} \lambda_{\alpha_2}(u) = 0 \quad (24)$$

3.3.9 – Validação de Modelos

a) Validação Cruzada

O método de validação cruzada usa os dados amostrais para avaliar se o modelo de correlação espacial foi adequado.

O procedimento abrange os seguintes passos:

- Para a localização s_i , omite a observação y_i temporariamente;
- Estima \hat{y}_i pelo método adotado usando os dados restantes;
- Compara o valor estimado com o observado ($\hat{y}_i - y_i$);
- Repete os passos anteriores para todos os pontos, observando as seguintes estatísticas (EQUAÇÕES 25 e 26):

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(y_i - \hat{y}_{-i}) / \sigma_{-i}] \approx 0 \quad (25)$$

$$\left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(y_i - \hat{y}_{-i}) / \sigma_{-i}]^2 \right\}^{1/2} \approx 1 \quad (26)$$

Onde \hat{y}_{-i} indica a predição de todos dos dados exceto y_i .

b) - Validação independente

Segundo JOHNSTON (2001), a mais rigorosa maneira de avaliar a qualidade de uma superfície de predição é comparar os valores preditos com os observados no campo. Frequentemente, não é possível retornar à área de estudo para coletar um subconjunto independente para validação. A solução é dividir o conjunto original em duas partes. Uma parte pode ser usada para modelar a estrutura espacial e produzir a superfície de

predição. A outra parte pode ser usada para comparar e validar a qualidade das predições.

ROSSITER (2006) segue uma forma simples para validar os modelos geoestatísticos:

- a) O erro médio dos valores preditos (Mean Error – ME, EQUAÇÃO 27) versus média dos dados de validação (observados) deve ser aproximadamente zero:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (27)$$

- b) A raiz do erro médio quadrático dos valores preditos pelo modelo (Root Mean Squared Error – RMSE, EQUAÇÃO 28) versus valores observados, quanto menor melhor:

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{0,5} \quad (28)$$

A EQUAÇÃO 28 é uma estimativa dos erros de predição. A distribuição desses erros pode também ser examinada por máximos, mínimos, mediana, quartis e outros índices, para que se possa verificar a qualidade do modelo.

CAPÍTULO IV - MÉTODO

Este capítulo descreve o método aplicada para realizar a predição espacial da poluição gerada pelo tráfego urbano na cidade de Florianópolis, onde os quantitativos de veículos motorizados, pedestres, moradores e trabalhadores são elevados, conforme o próprio autor, na sua dissertação de mestrado (1998).

Para alcançar essa meta foram realizadas, na primeira etapa, contagens manuais do volume de tráfego para aplicação no modelo estatístico de predição de CO (monóxido de carbono). Na segunda etapa, foi utilizado o módulo Geostatistical Analyst do ArcGis (ESRI, 2002) para predição dos níveis de CO em locais não amostrados. A FIGURA 14 apresenta um resumo do processo estrutural (fluxograma) do método desenvolvido nesta pesquisa.

4.1 - Características da Área de Pesquisa

A cidade de Florianópolis está situada a 27° 35' 48" de latitude Sul e 48° 32' 57" de longitude Oeste de Greenwich. Possui clima mesotérmico úmido (sem estação seca) e verão quente. A média anual da temperatura no período de 1923-1984 foi de 20,4 °C. Fevereiro, que é o mês mais quente, apresenta uma média mensal de 24,5 °C e julho, que é o mês mais frio, 16,4 °C. A média das máximas do mês mais quente varia de 28 a 31 °C e a média das mínimas do mês mais frio, de 7,5 a 12 °C. A umidade relativa do ar é alta e sua média anual fica em torno de 82% (CECCA/FNMA, 1997).

No ano 2000, o censo demográfico do município de Florianópolis revelou uma população de 341.781 habitantes (IBGE, 2006a), numa área de 436,5 km², resultando a densidade de 783 hab/km². A estimativa da população para 01.07.2006 foi de 406.564 habitantes (IBGE, 2006b) que resulta numa taxa de densidade de 931 hab/km².

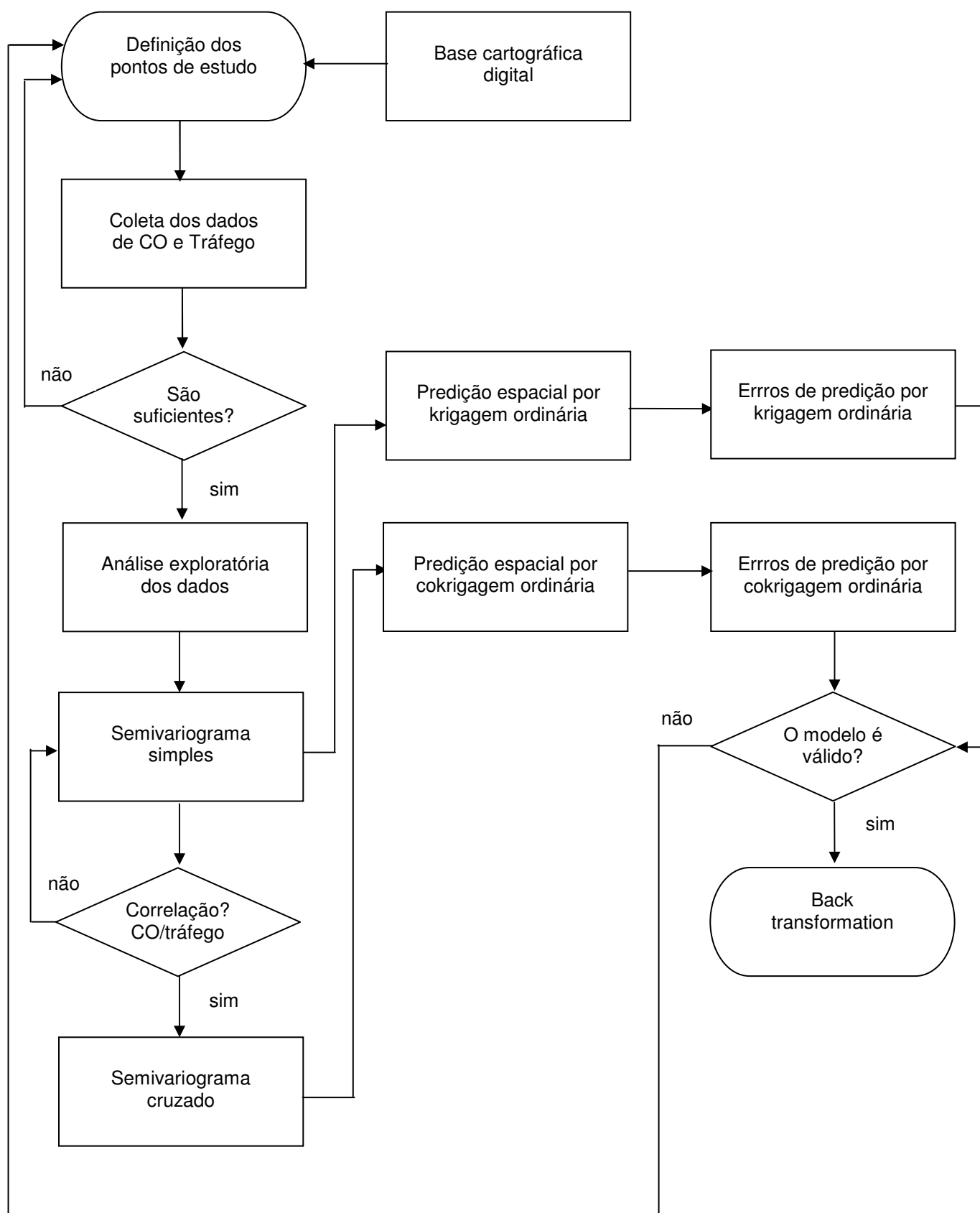


FIGURA 14 – Fluxograma do método de predição espacial

4.2 - Pontos de Estudo

Foram considerados os seguintes critérios para a escolha dos pontos de medição nas vias da cidade de Florianópolis:

1. Para ter características de um caso típico, os pontos têm uma situação onde os efeitos negativos do tráfego sobre as pessoas são médios. Isto é, não se coletou amostras em ruas com tráfego mínimo como em ruas sem saída ou máximo como em interseções.
2. Para avaliar o impacto dos níveis de concentração de CO (monóxido de carbono) sobre as pessoas, as vias têm padrões residências ou comerciais onde essas pessoas ficam expostas ao poluente por mais de 8 horas.
3. Para minimizar a influência de outras fontes que afetam os níveis de concentração de CO (monóxido de carbono) o ponto não deve estar localizado próximo de: indústrias, aeroportos, aclives ou declives, curvas, cruzamentos, estacionamentos, e redutores de velocidade. Essas fontes, aliadas a dispersão dos gases ao ar livre, tornam os dados não representativos para o tráfego.

Dessa forma foram selecionados 43 pontos de estudo (FIGURA 15) no centro da cidade de Florianópolis, descritos na TABELA 8, abrangendo uma área de 1,28 km² num perímetro de 4,52 km.

A forma irregular na disposição dos pontos mostrada na FIGURA 15 é uma consequência do método de escolha do ponto seguinte que teve como base a variância da predição, ou seja, para cada ponto inserido no banco de dados calculava-se a variância da predição por krigagem ordinária e o próximo ponto seria no local que esta apresentasse maior valor. Além disso, seguia-se o alinhamento da rua para coleta de dados.

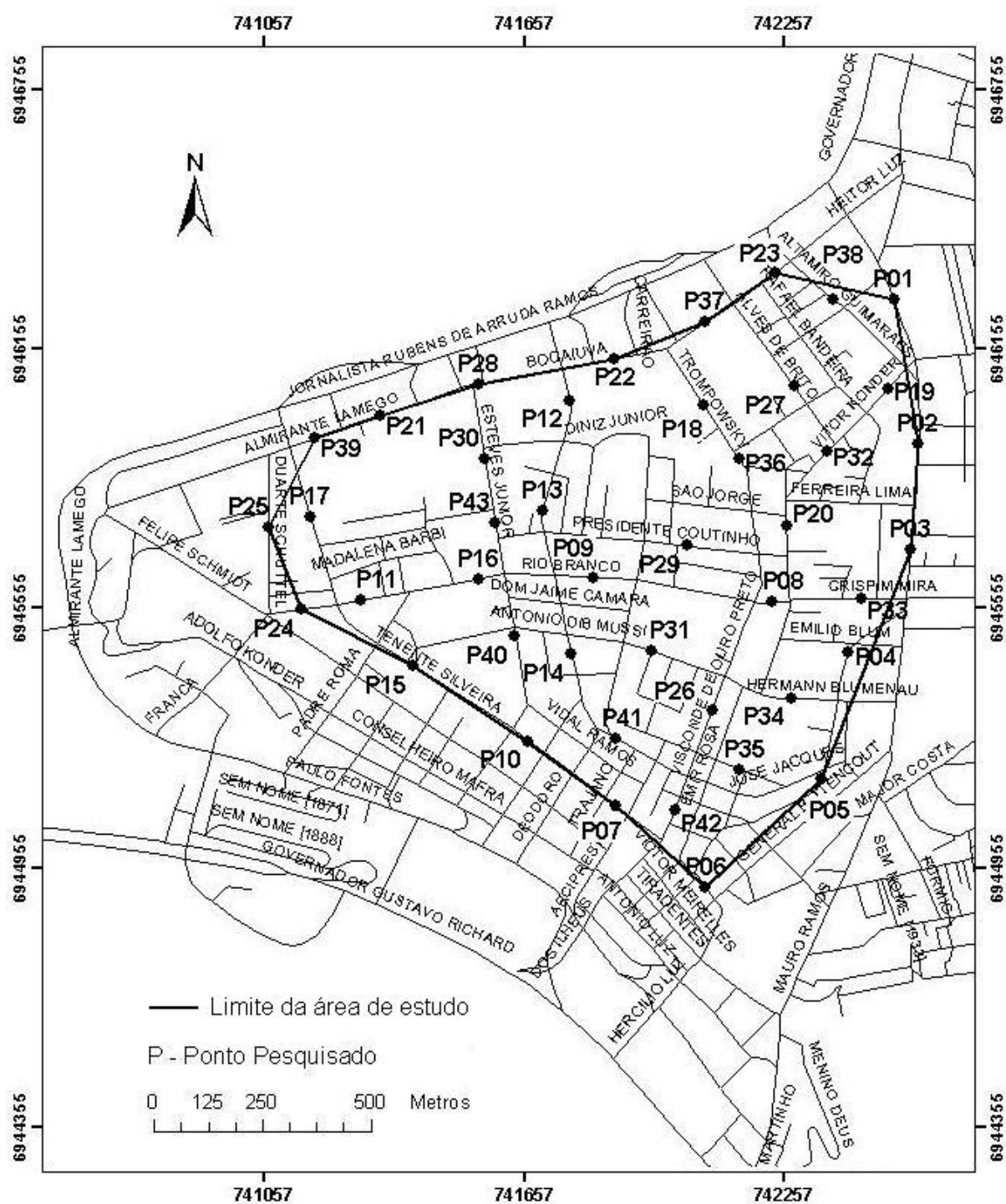


FIGURA 15 – Localização dos pontos de estudo no centro da cidade de Florianópolis.

TABELA 8 – Descrição da localização dos pontos de estudo

Ponto	CO(ppm)	Tráfego(v/h)	Local
P01	5.5	1997	Av. Mauro Ramos, entre R. G. Wendhausen e R. V. Konder
P02	6.1	2142	Av. Mauro Ramos, entre R. I. Joaquim e R. A. La Porta
P03	6.5	2556	Av. Mauro Ramos, entre R. A. Daminiani e R. José Boiteux
P04	4.8	1347	Av. Hercílio Luz, entre R. E. Brum e R. H. Blumenau
P05	4.1	1426	Av. Hercílio Luz, entre R. O. Melo e R. José Jacques
P06	4.2	1446	Av. Hercílio Luz, entre R. N. Machado e R. Gen. Bittencourt
P07	3.6	494	R. Tenente Silveira, entre R. A. Paiva e R. Trajano
P08	3.4	982	Av. Rio Branco, entre R. Alm. Alvim e R. Dom Joaquim
P09	4.4	1603	Av. Rio Branco, entre R. O. Gama Deça e R. Pres. N. Ramos
P10	4.1	804	R. Ten. Silveira, entre R. J. Coelho e R. Álvaro de Carvalho
P11	3.4	970	Av. Rio Branco, entre R. Tenente Silveira e R. Padre Roma
P12	5.4	1780	Av. O. Gama Deça, entre R. Bocaiúva e R. A. Tavares
P13	4.1	1394	Av. O. Gama Deça, entre R. Pres. Coutinho e R. Cel. L. Vieira
V14	3.0	1123	R. Osmar Cunha, entre R. A. Dib Mussi e R. Leoberto Leal
V15	3.6	564	R. Tenente Silveira, entre R. Pedro Ivo e R. Padre Roma
P16	5.7	1834	Av. Rio Branco, entre R. Esteves Junior e R. Luiz Trindade
P17	3.5	847	R. Arno Hoesch, entre R. H. Jacques e R. Almirante Lamego
P18	3.4	662	R. Trompowsky, entre R. Luiz Delfino e R. Bocaiuva
P19	4.1	1023	R. Vitor Konder, entre R. Rafael Bandeira e R. A. Guimarães
V20	3.4	949	R. Almirante Alvim, entre R. F. Lima e R. Pres. Coutinho
P21	3.2	770	R. Almirante Lamego, entre T. Rufino J. Silva e T. Harry Laus
P22	4.4	1201	R. Bocaiuva, entre T. Carreirão e T. Harmonia
P23	4.1	818	R. Bocaiuva, entre R. A. Guimarães e R. Rafael Bandeira
P24	3.3	844	Av. Rio Branco, entre R. Felipe Schmidt e R. Arno Hoesch
P25	3.1	356	R. Duarte Schutel, entre R. A. Lamego e Av. Rio Branco
P26	2.7	524	R. Visc. de Ouro Preto, entre R. H. Blemenau e R. J. Jacques
P27	2.4	140	R. Alves de Brito, entre R. G. Wendhausen e R. Luiz Delfino
P28	3.5	430	R. Bocaiuva com R. Esteves Junior
P29	3.3	531	R. Pres. Coutinho com T. Adelaide
P30	3.3	496	R. Esteves Jr, entre R. A. Tavares e R. Antenor Mesquita
P31	2.7	247	R. Durval M. Souza, com R. Coronel Melo Alvim
V32	4.1	1295	R. Vitor Konder, entre R. A. de Brito e L. Benjamin Constant
P33	3.3	375	R. Crispim Mira, entre R. Urbano Salles e V. Bernadete
P34	2.7	439	R. Hermann Blumenau, entre R. Hercílio Luz e Pç. G. Vargas
V35	3.2	620	R. Artista Bittencourt, entre R. Pedro Soares e R. Emir Rosa
P36	3.5	674	R. Trompowsky, com R. Luiz Delfino
V37	4.0	1399	R. Bocaiuva, entre R. Alves de Brito e T. Abílio de Oliveira
V38	3.8	630	R. Altamiro Guimarães, entre R. G. Wendhausen e T. Stodieck
P39	3.1	698	R. Almirante Lamego, entre R. Arno Hoesch e T. Harry Laus
P40	2.9	365	R. Esteves Junior, entre R. A. Dib Mussi e R. Vidal Ramos
P41	3.6	849	R. Marechal Guilherme com R. Trajano
V42	3.3	233	R. dos Ilhéus, entre R. Fernando Machado e R. Anita Garibaldi
P43	3.5	605	R. Esteves Junior, entre R. Pres. Coutinho e R. Antenor Mesquita

4.3 - Coleta de Dados

O objetivo da coleta de dados é obter uma representação espacial das concentrações de monóxido de carbono geradas pelo tráfego urbano. Para tanto, foram adotados os seguintes indicadores representativos e seus respectivos procedimentos de coleta:

4.3.1 - Parâmetros de Tráfego:

Volume de veículos leves - VL (carros de passeio e caminhonetes), volume de veículos pesados - VP (caminhões e ônibus) e o volume de motocicletas – VM. Esta escolha objetiva caracterizar a composição do tráfego na via selecionada.

As medições foram realizadas através de contagem manual durante o horário de maior pico de tráfego no centro: 17:30 às 18:30h. Período este adotado a partir de observações feitas em pesquisas anteriores para a cidade de Florianópolis, dissertação de mestrado do autor (1998).

Para que os dados fossem representativos seguiu-se a metodologia usada no mestrado do autor (1998) quanto aos dias típicos de coleta durante a semana: terça, quarta e quinta-feira, sem chuva, sem grandes variações de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Como as vias apresentam fluxo de tráfego livre e congestionado, intercalados, dependendo da hora do dia, que é típico de áreas urbanas, não será considerada a velocidade dos veículos, pois esta sofre variações entre os horários de pico. Além disso, não se está estudando os fatores de emissão veicular (o quanto cada tipo produz), mas sim o resultado da emissão menos a dispersão de monóxido de carbono gerado pelo tráfego na via, isto é, a concentração deste poluente.

4.3.2 - Parâmetros Geométricos da Via

Foram coletadas as seguintes características geométricas da via em relação ao ponto de estimação selecionado: largura, número de vias e faixas, ocupação do solo, distância do cruzamento mais próximo, distância da fachada ou muros, distância do aparelho ao meio-fio e ao centro da via, com dimensões em metros.

Também foi caracterizado o sentido do fluxo de tráfego em relação ao centro da cidade de Florianópolis.

4.3.3 - Parâmetros de Poluição Atmosférica

Nível de Concentração de Monóxido de Carbono, CO (ppm) - A escolha do nível de concentração de CO (monóxido de carbono) para representar a poluição atmosférica, deve-se à importância que este tipo de poluente tem para a qualidade do ar urbano e também, as características inerentes a este poluente conforme é mostrado a seguir (FREITAS, 1991):

1. É emitido por todos os combustíveis veiculares;
2. A sua emissão apresenta forte correlação positiva com os regimes de operação do tráfego (aceleração, desaceleração, velocidade constante);
3. A sua concentração pode ser medida de forma contínua e assim possibilita testes para situações onde ocorrerão flutuações de tráfego e das condições meteorológicas em período de tempo curto;
4. É um poluente quimicamente inerte, portanto sua concentração não é alterada por reações químicas;
5. Em áreas urbanas, sua principal fonte de emissão é de origem veicular, e pode ser usado como um indicador dos níveis de poluição atmosférica causada por outros tipos de poluente (ex: hidrocarbonetos e chumbo).

Os níveis de concentração de CO (ppm) foram medidos por cinco aparelhos StreetBox (FIGURA 16) cedidos pela University College London (UCL), através dos Pesquisadores Ian Ridley e Bem Croxford. Os aparelhos StreetBox foram desenvolvidos pela UCL e a Learian Environmental (www.learian.com) e operam com sensores de alta precisão da City Technology (www.citytech.co.uk). Podem coletar dados de CO e temperatura ambiente continuamente durante semanas.

Os aparelhos apresentam as seguintes características técnicas:

- Tamanho de 171 x 122 x 55 milímetros (caixa impermeável);
- Monóxido de Carbono, CO: 0 - 40 ppm (precisão ± 0.1 ppm);
- Temperatura: -20 a +70 °C (precisão $\pm 1\%$);
- Umidade: precisão $\pm 2\%$;
- Baterias: Duas pilhas alcalinas tamanho PP3 9 volts e quatro pilhas alcalinas tamanho AA 1,5 volts, com opção para recarregar com painel de energia solar;
- Memória: grava dados a cada 6 minutos com diversas opções de intervalos de saída (por exemplo, 10 min, 60 min);
- Compatibilidade: Windows (95, 3.1, NT) e Macintosh.



FIGURA 16 - Streetbox - Medidor de concentração de monóxido de carbono e a posição de medição no tráfego urbano. Fonte: CROXFORD (1998).

No final do período de coleta, os aparelhos foram conectados a um computador para transferência dos dados para arquivos de texto (txt), que podem ser lidos e gravados como arquivos xls (Microsoft Excel), dbf (dBase), etc.

4.4 - Sistema de Informações Geográficas - SIG

Um dos componentes mais importantes de um SIG é o banco de dados. Nesta pesquisa, os dados tabulares e os geográficos relacionados são adquiridos em campo e colecionados internamente.

4.4.1 - Montagem do Banco de dados

Os dados obtidos em cada ponto de coleta (seção 3.3), foram compilados e armazenados numa base de dados no formato dbf (FIGURA 17) para posterior análise, processamento e visualização das informações.

PT	X	Y	LEVES	co	lnco	co1767	lncoa	lnleves	Shape*
P27	742281.4	6946068.6	140	2.4	0.875469	0.633	-0.457285	4.941642	Point
P26	742091.4	6945317.6	524	2.7	0.993252	0.933	-0.069350	6.261492	Point
P31	741953.1	6945455	247	2.7	0.993252	0.933	-0.069350	5.509388	Point
P34	742276.7	6945345.8	439	2.7	0.993252	0.933	-0.069350	6.084499	Point
P40	741636.3	6945489.6	365	2.9	1.064711	1.133	0.124869	5.899897	Point
P25	741067	6945741.6	356	3.1	1.131402	1.333	0.287432	5.874931	Point

FIGURA 17 – Banco de dados parciais de CO

Os principais campos têm a seguinte definição: O primeiro campo “PT” contém os nomes atribuídos aos pontos pesquisados. As coordenadas, que foram determinadas pelo mapa vetorial e verificadas por GPS, são armazenadas nos campos “X” e “Y”. Os quantitativos da concentração de CO, CO menos a constante 1,767 e veículos leves estão relacionados nos campos “CO”, “CO1767” e “LEVES” respectivamente. Os logaritmos de CO, CO menos a constante 1.767 e veículos leves estão nos campos “LNCO”, “LNCOA” e “LNLEVES” respectivamente. O último campo relaciona a forma geométrica de representação dos dados espaciais.

Como a natureza dos dados e a forma como foram coletados e armazenados no SIG determina a lógica segundo a qual as consultas podem ser executadas (EASTMAN, 2003) convencionou-se que toda informação de atributo é coletada e estocada no banco de dados. Assim, depois de estabelecer uma ligação com o banco de dados, podem-se realizar consultas e conhecer todos os atributos armazenados nos registros do banco de dados.

4.4.2 - Base Cartográfica

Os dados geográficos (coleção de mapas e informações associadas em formato digital) são gerenciados pelo ArcGis (ESRI, 2002).

A base cartográfica das vias do centro da cidade de Florianópolis foi cedida, em arquivo digital georeferenciado em coordenadas UTM, pela empresa VISÃO GEO, representante de comercialização, em Santa Catarina, do software ArcGis, produzido pela empresa ESRI - Environmental Systems Research Institute.

A base digital passou por uma limpeza topológica pelo módulo Geographics do programa Microstation para que não ocorresse erro na implantação (por exemplo, de cores) e, assim, gerar mapas confiáveis para examinar a distribuição espacial da concentração de CO.

A integração com o SIG obedecerá aos critérios de otimização de qualidade e eficiência em estudos de efeitos do ruído criados por KLUIJVER (2001) e descritos nos seguintes passos (com adaptação para CO):

1. Coletar os dados brutos, organização, exame e armazenamento destes dados;
2. calcular os níveis de concentração de CO;
3. acumular níveis de concentração de CO;
4. determinar os contornos do CO;
5. determinar os efeitos do CO;
6. apresentar os impactos do CO.

4.5 - Análise Geoestatística

Nesta seção descrevem-se as etapas da análise geoestatística dos dados de monóxido de carbono e do volume de veículos leves, começando pela análise exploratória dos dados, os variogramas e seus modelos, krigagem, cokrigagem e mapas.

4.5.1 - Análise Exploratória dos Dados

Nesta etapa exploratória utilizou-se o programa SAS (2000). A primeira tarefa foi verificar nos arquivos de dados qualquer erro causado pelos instrumentos ou por transferência para o microcomputador. Foram examinadas as posições (coordenadas) em relação à região de coleta, através do mapa de distribuição dos pontos pesquisados. As variáveis foram comparadas em relação aos máximos e mínimos. Também foi examinada a possibilidade da existência de valores extremos.

Os resumos estatísticos computam para cada variável do modelo:

- a) Média;
- b) Variância;
- c) Desvio padrão;
- d) Assimetria;
- e) Curtose;
- f) Coeficiente de variação.

A normalidade dos dados foi verificada através de histogramas, gráficos de probabilidades e testes de normalidade de Kolmogorov-Smirnov, tendo como base que a análise geoestatística é mais eficiente quando feita com variáveis que têm distribuição normal, ou Gaussiana (WEBSTER 2001).

A variável CO foi transformada para estabilizar a variância, observando o seguinte critério para a assimetria WEBSTER (2001):

- a) Assimetria positiva, $0 < a < 0,5$. Não transformar;
- b) Assimetria positiva, $0,5 < a < 1$. Transformar por raiz quadrada
- c) Assimetria positiva, $a > 1$. Transformar por logaritmo. Examinar o resultado da distribuição. Aceitar, se for aproximadamente normal. Caso contrário, subtrair uma contante da variável.

Os intervalos de confiança da média para a distribuição lognormal tiveram como base os fatores estabelecidos por Sichel (CLARK,2002).

4.5.2 - Estrutura Espacial

Nesta fase, buscou-se caracterizar os dados no espaço para produzir modelos de krigagem e cokrigagem com maior segurança. Assim, procurou-se detectar, através de projeções nos planos leste e norte, qualquer tendência nos dados de CO. Este cuidado deve-se ao fato da tendência ser incompatível com a suposição de estacionariedade em que a análise geoestatística é baseada.

A estrutura espacial foi analisada através do semivariograma pelo método clássico (ISAKS, 1989). O semivariograma é a metade da variância da diferença entre duas variáveis em duas localizações.

Como os dados de CO são dispersos irregularmente, foram computados diversos variogramas em diversas direções, e também ignorando as direções (omnidirecional), sendo este o mais apropriado por não apresentar qualquer padrão direcional de variabilidade.

O variograma experimental foi ajustado pela função matemática penta-esférica como um modelo do variograma teórico. O critério de ajuste foi dos mínimos quadrados ponderados.

4.5.3 - Krigagem e cokrigagem ordinárias

A primeira tentativa de predição de CO foi realizada pela krigagem ordinária. Os cálculos da validação cruzada, para krigagem ordinária, mostraram valores altos para os índices de RMSE (Raiz do Erro Médio Quadrático, 0,4807) e ASE (Erro Médio Padrão, 0,4785) e um valor baixo para r (Coeficiente de correlação de Pearson, 0,06) entre os valores observados e preditos. Então, fez-se uma análise de correlação com as outras variáveis pesquisadas: LNLEVES (logaritmos de veículos leves), LNPES (logaritmos de veículos pesados) e LNMOT (logaritmos de motos). Como a variável LNLEVES apresentou a melhor correlação entre elas, optou-se em utilizá-la no método de Cokrigagem Ordinária.

4.5.4 - Validação dos Modelos

Foram usados dois tipos de validação: cruzada e independente. Para validação independente foram selecionados aleatoriamente os pontos necessários para validar os modelos de predição de krigagem e cokrigagem.

A quantificação da qualidade da predição compara os valores preditos com os observados, através dos seguintes índices estatísticos:

- Erro Médio (Mean Error - ME);
- Erro Médio Absoluto (Mean Absolute Error - MAE);
- Raiz do Erro Médio Quadrático (Root Mean Squared Errors – RMSE);
- Erro Médio Padrão (Average Standard Error – ASE);
- Erro Médio Normalizado (Mean standardized error)
- Raiz do Erro Médio Quadrático Normalizado (Root Mean Square Standardized Error – RMSSE);
- Covariância;
- Coeficiente de correlação de Pearson;
- Índice de concordância (d), (WILLMOTT, 1981).

Através desses procedimentos, os níveis de concentração de CO foram preditos espacialmente, com auxílio da variável secundária veículos leves, empregando os métodos geoestatísticos de krigagem e cokrigagem. O SIG mapeia a predição da concentração de CO nas zonas centrais (onde se localizam pedestres, moradores e trabalhadores).

É importante ressaltar que a intensa dinâmica do espaço físico, como a pressão pela ocupação do solo, as exigências de investimentos em infra-estrutura, a gestão ambiental entre outras, torna mais premente a necessidade de atualização das cartas. O mundo moderno exige que se tenham informações atualizadas e espacialmente referenciadas no sentido de otimizar as decisões e solucionar problemas complexos do cotidiano (COUTINHO, SEIFFERT E LOCH, 1999). Pois, segundo LOCH E KIRCHNER (2002), a disponibilidade de informações é o ponto de partida para a recuperação das áreas degradadas, o planejamento e gestão econômico-ambiental.

CAPÍTULO V – ANÁLISE DE DADOS

Os dados de tráfego, monóxido de carbono, meteorológicos e das principais vias do centro da cidade de Florianópolis foram obtidos e inseridos num banco de dados segundo o método descrito no capítulo III. Destes dados foi elaborada uma série de mapas e gráficos usando a tecnologia de geoprocessamento e de programas estatísticos, a fim de proporcionar uma melhor compreensão do comportamento das variáveis no meio ambiente.

A base de dados estruturada é composta por dois tipos de dados: aqueles que descrevem a componente de localização nas vias (coordenadas) e aqueles que descrevem a componente de qualificação (concentração de CO, largura e sentido da via).

Com a inserção desses dados foi possível extrair tabulações e sumários estatísticos para gerar novas informações. Por exemplo, solicitou-se ao sistema para localizar no mapa digital uma combinação de pontos com a máxima (primeiro percentil), média e mínima poluição por monóxido de carbono e por volume de tráfego em áreas comerciais e residenciais, gerando, assim, representações espacializadas das vias com características variadas de poluição e uso do solo. Estas representações dos dados não existiam no banco original, foram derivados pelo geoprocessamento dos dados coletados.

Em virtude desses resultados mencionados e descritos, demonstra-se que o mapeamento da poluição gerada pelo tráfego é uma importante ferramenta para os órgãos públicos que gerenciam a qualidade do meio ambiente urbano, principalmente como base para tomada de medidas mitigadoras de impacto ambiental negativo.

5.1 - Distribuição de Monóxido de Carbono

Os dados de monóxido de carbono (CO) foram obtidos segundo o método descrito no Capítulo III, Seção 3.3.1. A localização dos pontos pesquisados, a seqüência de coleta, os dados de CO são mostradas na FIGURA 18 e detalhados nas TABELAS 8 (p.71), A (p.125) e B (p.126).

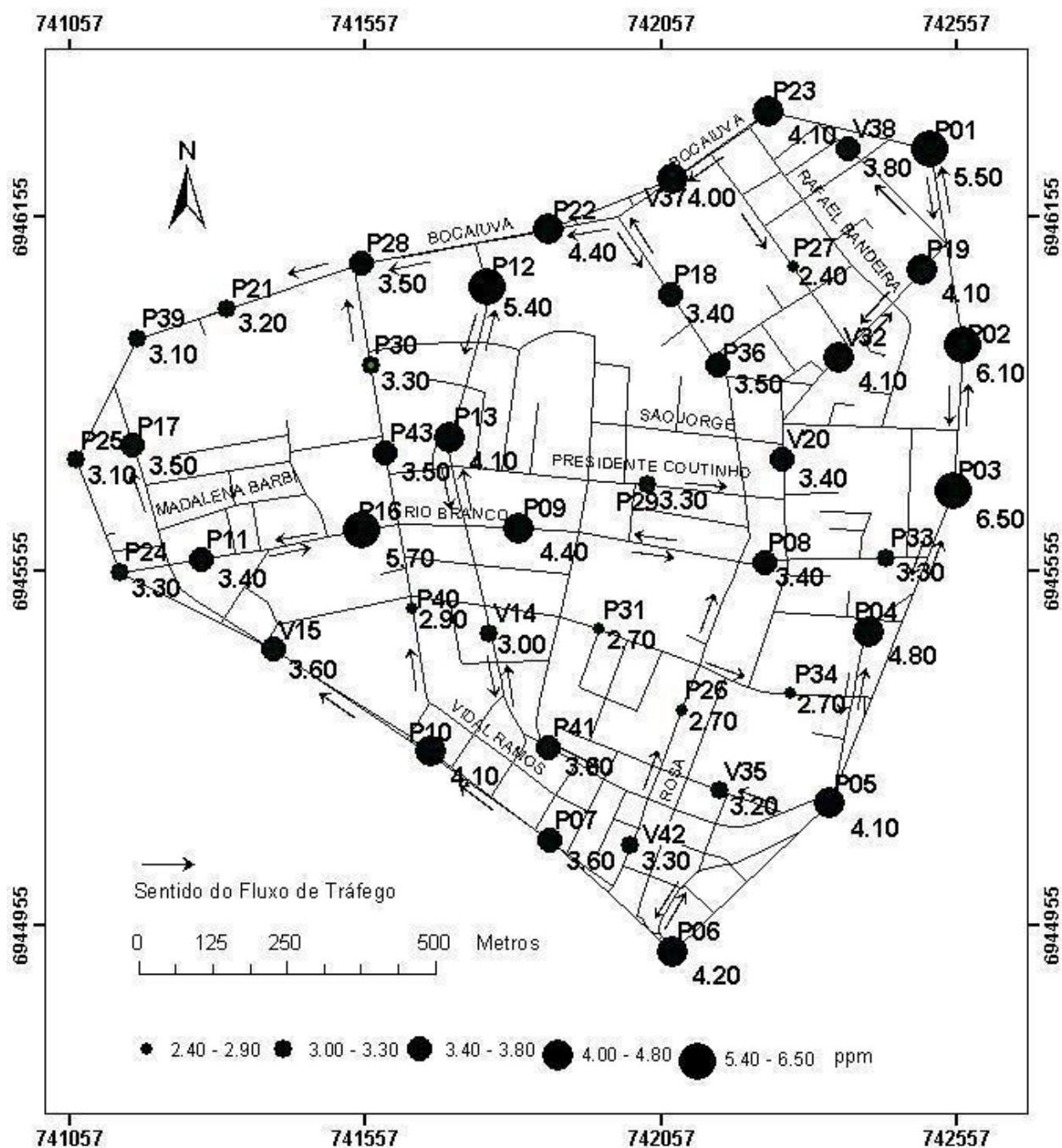


FIGURA 18 – Concentração de CO (média de uma hora), com 35 pontos para análise espacial (P) e 8 pontos para validação do modelo (V)

As concentrações máximas de CO ocorreram nos pontos P03 – Av. Mauro Ramos, entre R. A. Daminiiani e R. José Boiteux, 6,5 ppm; P02 - Av. Mauro Ramos, entre R. I. Joaquim e R. A. La Porta, 6,1 ppm; e P16 – Av. Rio Branco, entre as Ruas Esteves Junior e Luiz Trindade, 5,7 ppm.

As concentrações mínimas de CO foram registradas nos pontos P27 – Rua Alves de Brito, entre R.G. Wendhausen e R. Luiz Delfino, 2,4 ppm; P26 – Rua Visc. Ouro Preto, entre R. H. Blumenau e R. J.Jacques, 2,7; e P31 – Rua Durval M. Souza, com R. Coronel Melo Alvim, 2,7.

Os níveis de monóxido de carbono em comparação com os padrões de qualidade estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), através da Resolução nº 003 de 28 de junho de 1990 (TABELA 9), mostram que não houve risco da concentração ultrapassar os limites padronizados.

TABELA 9: Padrões de qualidade do ar

Poluente	Padrão		Tempo de exposição (h)
	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	(ppm)	
CO	10.000	9	8
	40.000	35	1

Os valores máximos não devem ser excedidos mais de uma vez por ano;

1 ppm = $1145 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Fonte: CONAMA (1990).

Maiores detalhes sobre a legislação ambiental nos âmbitos Federal, Estadual e Municipal estão no ANEXO D (p.147).

A TABELA 10 (p.87) apresenta um resumo estatístico da concentração de monóxido de carbono (CO) para cada ponto; e, os gráficos desses comportamentos estão nas FIGURAS 19 a 22. Os valores que deram origem à TABELA 10 e às FIGURAS 19 a 22 estão na TABELA A do ANEXO A (p.125). Maiores detalhes podem ser verificados nas Planilhas de levantamento de dados que estão no ANEXO C (p.133).

5.1.1 - Verificação da Normalidade dos Dados

Inicialmente, fez-se o gráfico de probabilidade da distribuição da concentração de monóxido de carbono (CO), como mostra a FIGURA 19, produzida pelo “proc univariate” (SAS, 2000), as fontes de programação estão no ANEXO B (p.130). Os valores de CO (y) foram ordenados do menor para o maior e os percentis (x) foram calculados pela seguinte expressão (SAS, 2000):

$$x_i = \left(\frac{i - 0,375}{n - 0,25} \right) \quad (23)$$

Onde: i = Posição do valor ordenado

n = Número de observações.

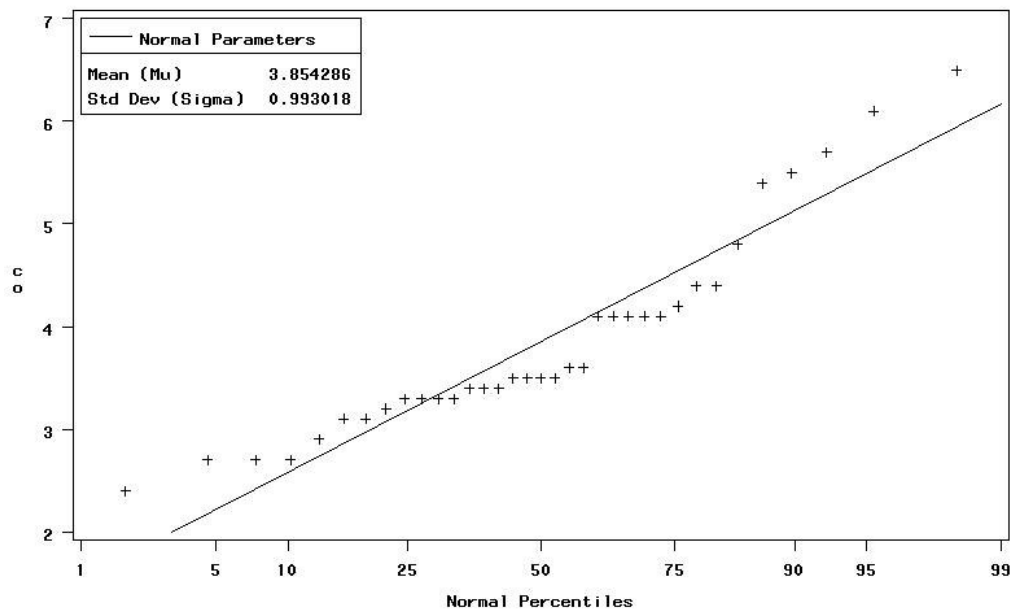


FIGURA 19 – Gráfico de probabilidade normal de CO.

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov (FIGURA 20) gerada pelo “proc capability” do software SAS (2000) revelou que a distribuição da concentração de monóxido de carbono (CO) não é normal (probabilidade < 0.01).

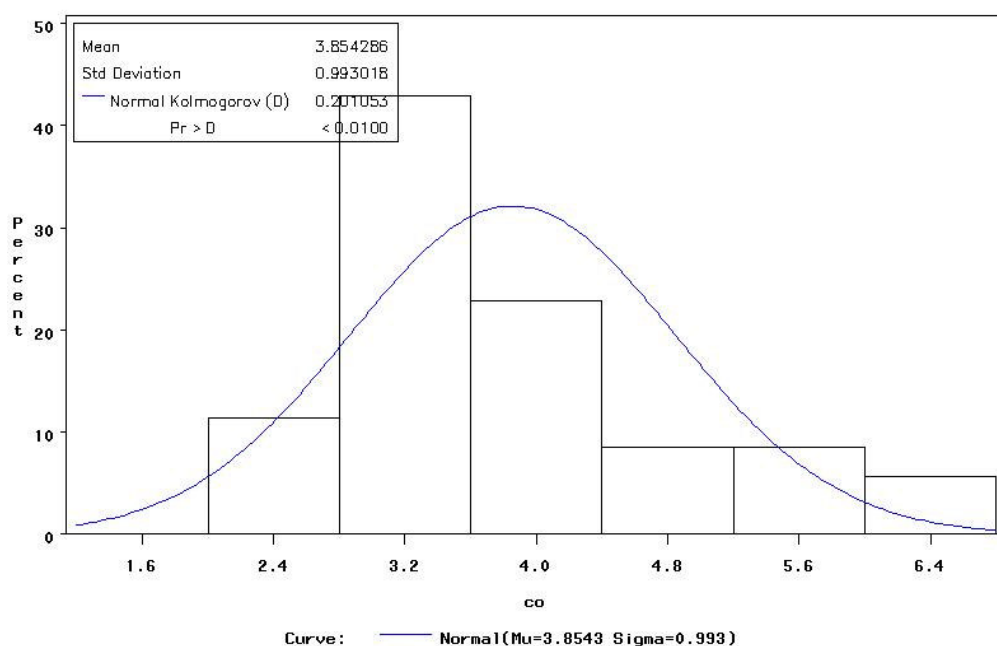


FIGURA 20 – Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para CO

Diante dos resultados da não normalidade da distribuição de CO que tem uma assimetria positiva, $w > 1$ (TABELA 10, p.87), incorporou-se a transformação logarítmica de base natural nos valores das concentrações de CO menos a constante $\beta=1,767$ para melhor estabilizar a variância da distribuição, conforme recomendação de WEBSTER (2001).

A escolha da constante, $\beta=1,767$, é baseada em SICHEL (1966) que recomenda para o tamanho de β que $\sum (y_i - \bar{y})^3$ deve ser o mais próximo de zero possível e a linha produzida pelo gráfico de probabilidade deve ser a mais reta possível. Sendo, $y_i = \ln (g_i - \beta)$ e g_i = concentração de CO. O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov e o ajuste da distribuição, com essas modificações, são apresentados nas FIGURAS 21 e 22 (“proc capability” e “proc univariate”, SAS, 2000, respectivamente). As fontes de programação estão no ANEXO B (p.130).

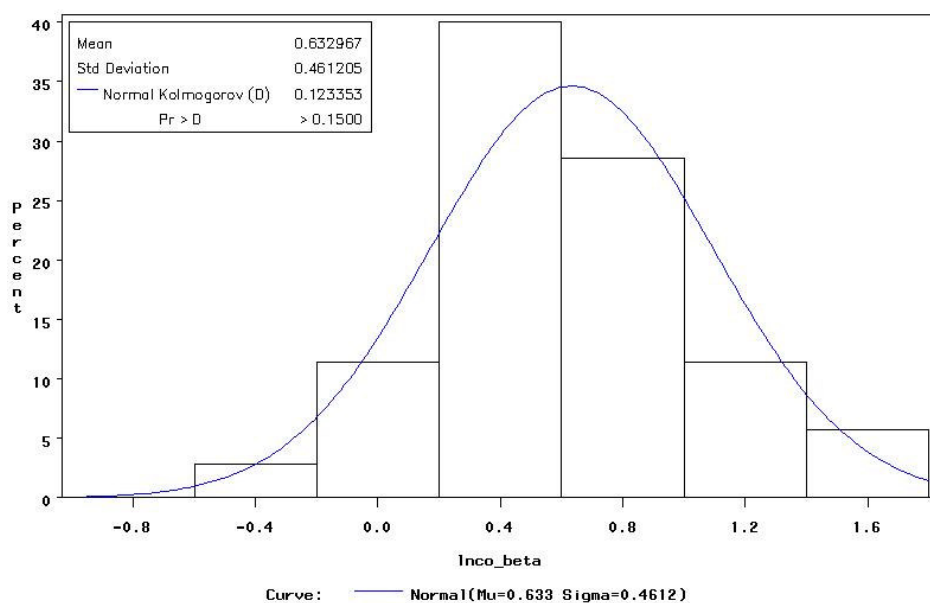


FIGURA 21 – Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os logarítimos das concentrações de CO- β

Quando os dados de CO- β são plotados numa escala logarítmica a distribuição se ajusta melhor à linha reta, como mostra a FIGURA 22.

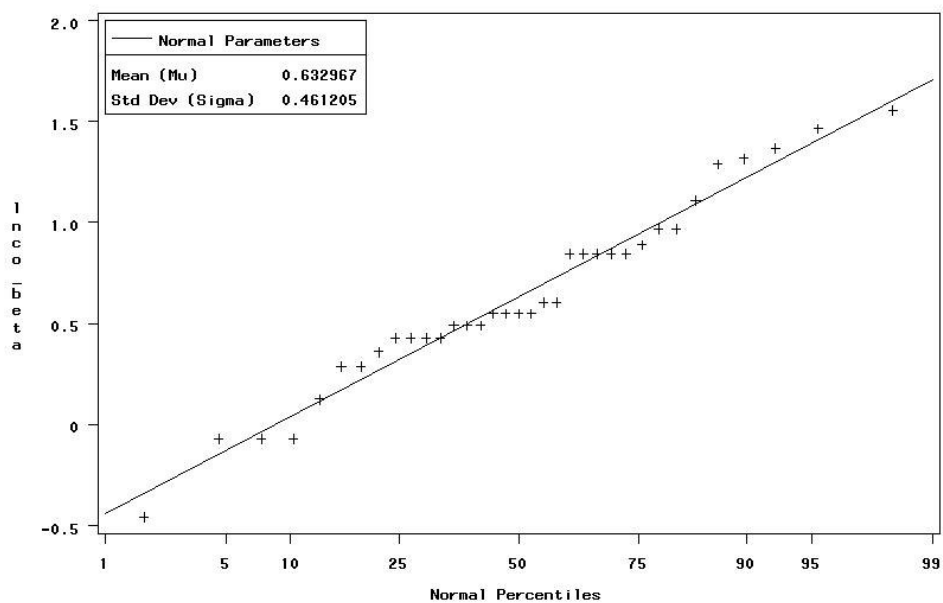


FIGURA 22 – Gráfico de probabilidade normal dos logarítimos das concentrações de CO- β

5.1.2 - Intervalo de Confiança para a Média

O método usado para otimizar a estimação da média de uma distribuição lognormal é o estimador t de Sichel (CLARK, 2000). A TABELA 10 mostra o resumo dos cálculos amostrais do CO (g_i) e dos logarítimos naturais de CO- β (y_i): médias (\bar{y}), variâncias (s^2), desvios padrão (s), assimetrias (w), curtoses (k) e coeficientes de variação (CV). Os detalhes dos cálculos estatísticos estão na TABELA A do ANEXO A (p.125). Para o estimador t de Sichel é necessário encontrar a variância dos logarítimos (V), calculada pela EQUAÇÃO 24.

$$V = \frac{1}{n} \sum (\ln g_i - \bar{y})^2, \quad \text{onde: } \bar{y} = \frac{1}{n} \sum \ln g_i \quad (24)$$

TABELA 10 – Resumo estatístico das concentrações de CO (ppm) e seus logarítimos.

Estatísticas	g_i	$y_i = \ln(g_i - \beta)$	$(g_i - \bar{g})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
Totais	134,9000	22,1538	33,5269	7,2322
Médias(\bar{y})	3,8543	0,6330	0,9579	0,2066
Variância(V)	0,9579	0,2066		
Variância(s^2)	0,9861	0,2127		
Desvios padrão(s)	0,9930	0,4612		
Assimetrias(w)	1.1054	-0.0003		
Curtoses(k)	0.7626	0.0100		
Coeficientes de variação(CV)	25.76%	72.86%		

Observando os resultados da TABELA 10, encontram-se:

$$\bar{y} = 0,6330 \text{ e } V = 0,2066$$

Usando o procedimento recomendado por Sichel, (CLARK, 2000), o estimador t para a média da população do modelo lognormal é:

$$t = \exp(\bar{y}) \gamma_n(V) \quad (25)$$

onde $\gamma_n(V)$ é obtido da Tabela 7 - Fatores de Sichel para estimação da média de uma população lognormal (CLARK, 2000). Este fator de correção é usado para não enviesar

o retorno da distribuição original (back transformation) da transformação logarítmica (encontra-se, no ANEXO B, p.130, um pequeno exemplo numérico).

Interpolando entre as linhas e colunas dessa tabela (detalhes no QUADRO 1), encontra-se $\gamma_n(V) = 1,1087$. Substituindo na EQUAÇÃO 25,

$$t = e^{0,633} \times 1,1087 = 2,0879$$

Que é o melhor estimador t para a média da população do modelo lognormal. Adicionando a constante ($\beta=1.767$) ao estimador ($t=2,0879$), encontra-se a média da distribuição de CO igual a 3,8549 ppm. Assim, garante-se que o retorno da distribuição original não é enviesado.

QUADRO 1 – Detalhes de interpolação da Tabela 7 (CLARK, 2002)

$\gamma_n(V)$	35
0,2000	1,1050
0,3000	1,1610
0,2066	1,1087

De forma semelhante, para encontrar o intervalo de confiança de 90%, interpolou-se entre linhas e colunas da Tabela 8 – Fatores de Sichel para intervalos de confiança da média de uma população lognormal (CLARK,2002). Portanto, para $V = 0,2066$ e 35 amostras, obtêm-se $\psi_{0,05} = 0,8864$ (detalhes no QUADRO 2). Multiplicando esse valor por t (média), tem-se o limite inferior do intervalo:

$$\text{Limite inferior} = (\psi_{0,05} \times t) + \beta = (0,8864 \times 2,0879) + 1,767 = 3,618 \text{ ppm.}$$

E, da mesma forma, para o limite superior do intervalo, tem-se:

$$\text{Limite superior} = (\psi_{0,95} \times t) + \beta = (1,1732 \times 2,0879) + 1,757 = 4,207 \text{ ppm.}$$

Desse modo, estima-se que a média de CO é 3,855 e, com 90% de confiança, a verdadeira média está entre 3,618 e 4,207 ppm.

QUADRO 2 – Detalhes de interpolação da Tabela 8 (CLARK, 2000b)

$\psi_{0,05}(V;n)$	35	$\psi_{0,95}(V;n)$	35
0,2000	0,8880	0,2000	1,1700
0,3000	0,8630	0,3000	1,2180
0,2066	0.8864	0,2066	1.1732

5.1.3 Relacionamento Espacial

Nesta seção explora-se a quantificação e interpretação das características de localização no espaço dos dados por meio de modelos não disponíveis na estatística clássica.

5.1.3.1 - Análise de Tendência

O objetivo de analisar a tendência é removê-la, caso seja significativa, para usar os dados com maior segurança na krigagem.

A localização de cada ponto amostral foi então projetado nos planos x, z e y,z como num gráfico de dispersão. Segundo WEBSTER (2001), os resultados mostram se os dados incorporam algum tipo de tendência na direção dos eixos do sistema de coordenadas, por um progressivo aumento ou decréscimo das médias. E, JOHNSTON (2001), afirma que se existe tendência nos dados, a componente não aleatória da superfície pode ser representada por uma fórmula. Por exemplo, um vale poderia ser representado por uma fórmula (polinomial de segunda ordem) que crie uma forma de “U”.

As projeções dos pontos amostrados de CO nas direções leste (X) e norte (Y) são mostradas na FIGURA 23, não evidenciando um padrão quadrático, como pode ser

notado pela dispersão dos dados projetados. Portanto, as projeções mostram pequenas flutuações leste e norte, mas sem evidência considerável de tendência polinomial de grau 2.

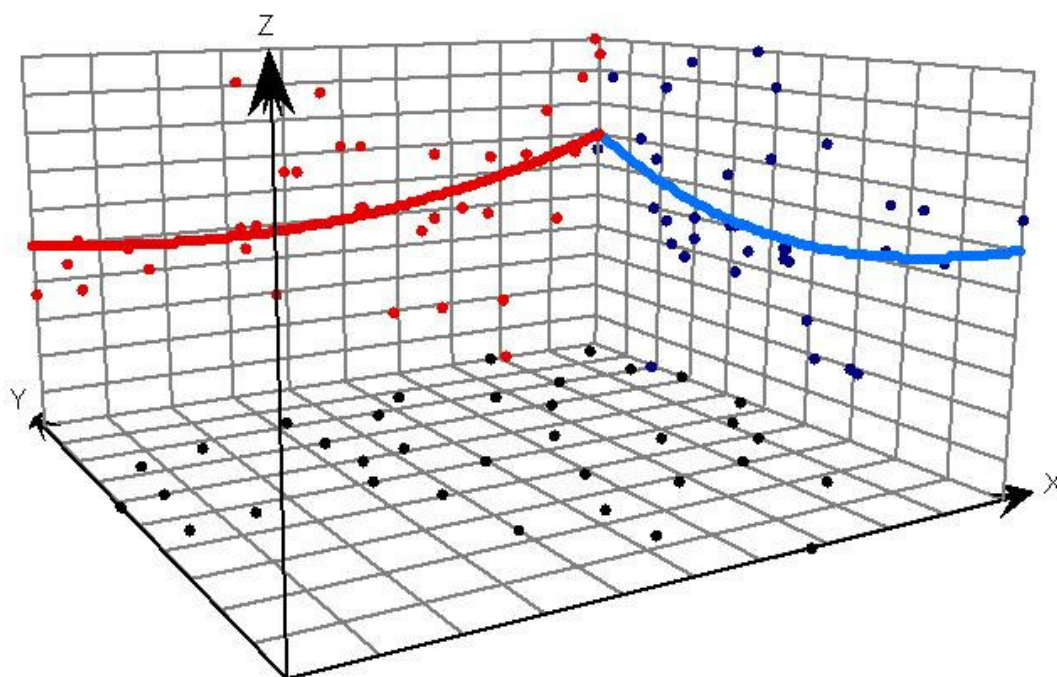


FIGURA 23 – Projeções dos pontos de CO nas direções leste(X) e norte(Y).

5.1.3.2 - Continuidade Espacial

Dois dados próximos um do outro são mais prováveis ter valores similares que dois dados afastados (ISAAKS, 1989; GOOVAERTS, 1997, WEBSTER, 2001). Para visualizar essa relação, entre os pares dos níveis de CO, começou-se pela distribuição dos logaritmos da concentração de CO- β em cada estação, mostrada na FIGURA 24 criada com o software IDRISI (EASTMAN, 2003).

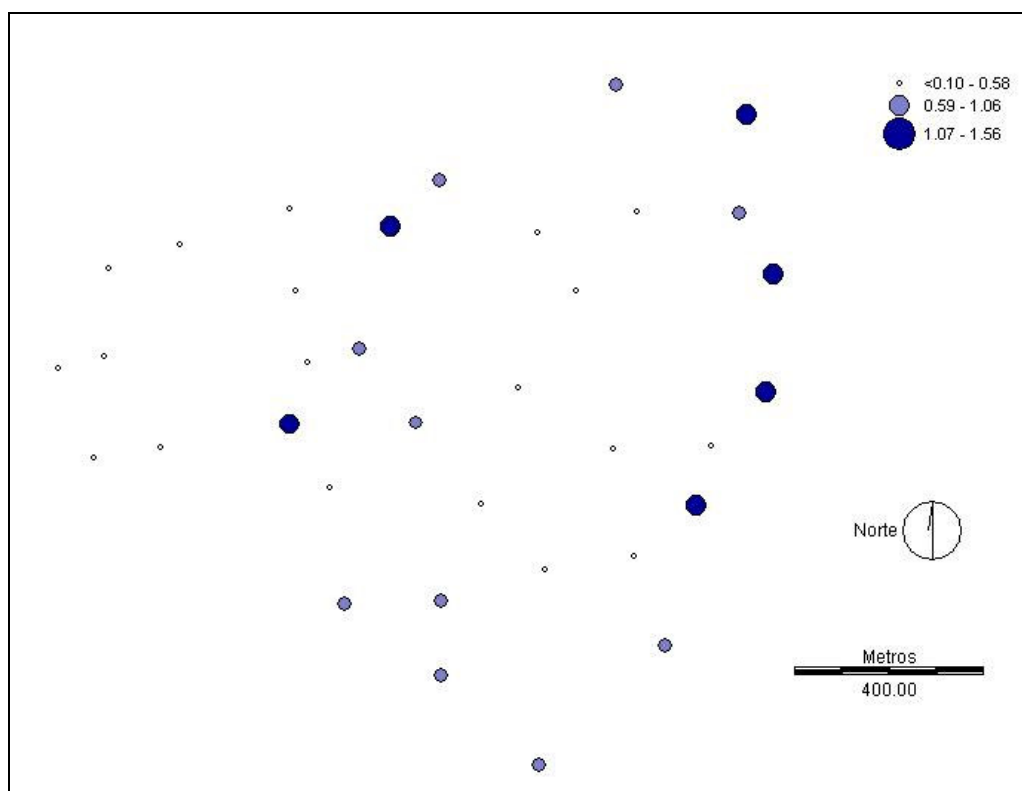


FIGURA 24 – Logaritmos da concentração de CO em cada estação.

A fim de se ter uma noção da superfície tri-dimensional gerada pela concentração de CO em cada estação, distribuídos conforme FIGURA 24 geraram-se, pelo software Splus (INSIGHTFUL, 2002), os gráficos da FIGURA 25 (sentido sul-norte) e FIGURA 26 (sentido norte-sul).

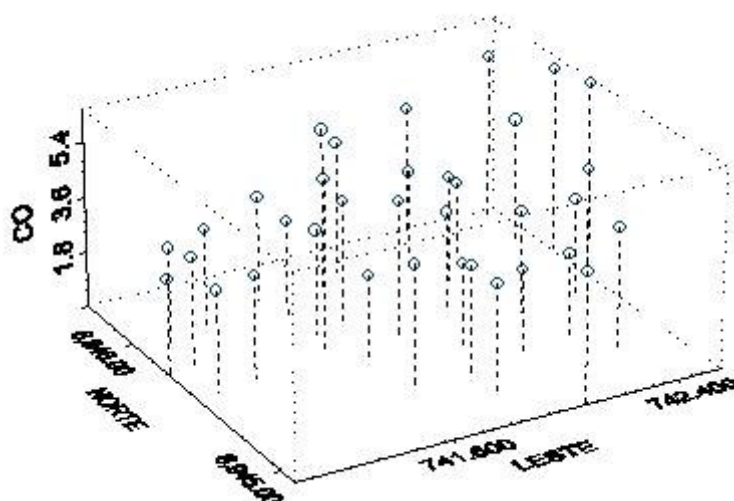


FIGURA 25 – Gráfico de dispersão 3d dos níveis de CO na direção sul-norte.

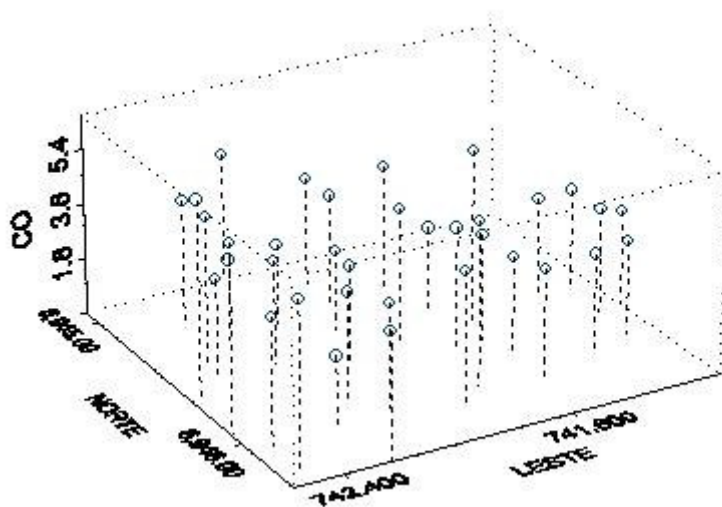


FIGURA 26 – Gráfico de dispersão 3d dos níveis de CO na direção norte-sul.

Nota-se visualmente, pela distribuição dos logaritmos da concentração de CO- β , nas FIGURAS 24 (pontual) e da concentração de CO nas FIGURAS 25 e 26 (tri-dimensional), que não existe relação de tendência direcional dos dados, conforme foi constatado por projeções na Seção 4.1.3.1. Isto também implica que não existe tendência direcional da média local, portanto, têm-se a estacionariedade da média. Isto é, a constância da média, variância e covariância dependem apenas da separação e não da posição absoluta (WEBSTER, 2001), o que se torna um pressuposto suficiente para a utilização do método de krigagem ordinária.

Outra forma de visualizar que as semivariâncias dispostas no espaço são isotrópicas (nenhuma direção de variabilidade é privilegiada) é através do semivariograma de superfície, mostrado na FIGURA 27. Têm-se dez lags horizontais e verticais a partir do centro desse semivariograma. As cores azul e verde representam baixa variabilidade, e as cores vermelho e laranja elevada variabilidade. O círculo no centro representa a distância (320 m) do alcance (range) do semivariograma onde existe autocorrelação espacial dos logaritmos de CO- β , a partir dessa distância a variabilidade é constante, os dados são independentes.

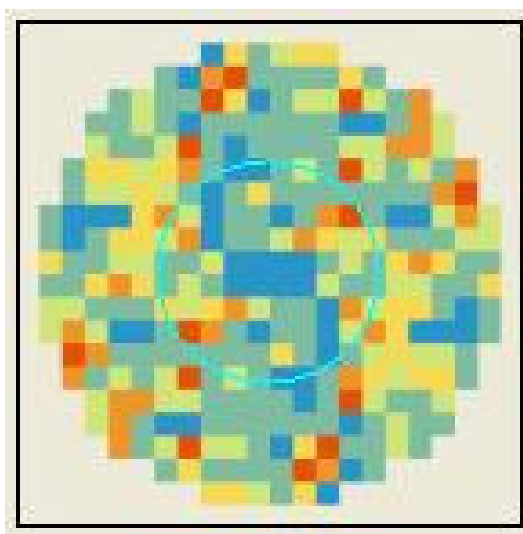


FIGURA 27 – Semivariograma de superfície.

Como não existem privilégios nas direções em que a variabilidade espacial ocorre, construiu-se o semivariograma empírico (omnidirecional) para os logaritmos das concentrações de CO (menos a constante 1,767) das 35 estações de medição que totalizam 595 pares de pontos distribuídos em dez lags com incremento de 75 metros. Para o semivariograma simples os valores das semivariâncias foram calculados com base na EQUAÇÃO 4 e para o semivariograma cruzado as semivariâncias foram definidas pela EQUAÇÃO 9.

Um modelo teórico penta-esférico (EQUAÇÃO 8) foi ajustado aos semivariogramas simples (EQUAÇÃO 4) e cruzado (EQUAÇÃO 9) das distribuições lognormais do CO- β (y_i), representado pela linha amarela da FIGURA 28, e do volume de veículos leves (z_i). Os parâmetros desse ajuste estão na TABELA 11.

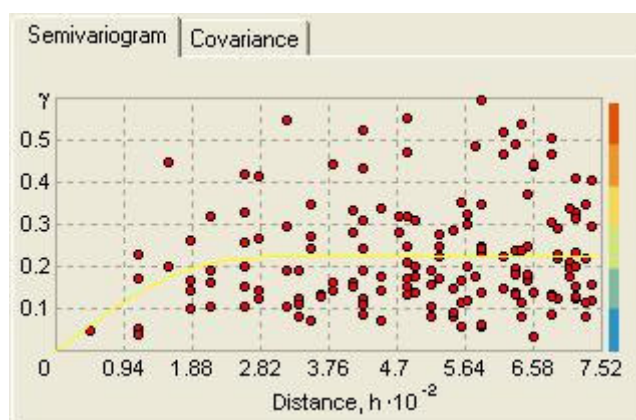


FIGURA 28 – Semivariograma empírico dos logaritmos de CO- β .

TABELA 11 – Parâmetros de ajuste dos semivariogramas (simples e cruzado)

Variável	Modelo	Pepita	Patamar	Alcance
$y_i = \ln(g_i - \beta)$	Penta-esférico	0,00000	0,22223	320
$z_i = \ln(v_i)$	Penta-esférico	0,07837	0,37751	320
y_i e z_i	Penta-esférico	0,00000	0,28964	320

Os valores dos alcances selecionados são iguais para as três variáveis, ou seja, independe do método de krigagem ou do método de cokrigagem. Esta decisão tem o objetivo comparar a validação cruzada e a validação independente dos métodos.

O semivariograma mostra que existe variabilidade regional, ou seja, para pontos mais afastados no espaço as semivariâncias são maiores até 320 metros entre os pares e, consideradas constantes a partir dessa distância por apresentarem comportamentos espaciais diferenciados (padrões de variabilidade que podem depender de fatores como clima, vento, relevo).

A aparência do semivariograma (saltos de lag para lag) pode ser proveniente da baixa quantidade de pares de pontos. Isto forçou a escolha do incremento do lag para 75 metros com objetivo de capturar a variabilidade dos pontos separados por distâncias inferiores ao alcance atingido (320 metros). E, assim, conter maiores quantidades de pares amostrais representativos da área pesquisada (ISAACS, 1989).

O comportamento após os 320 metros também pode ser consequência da presença de valores extremos, aos quais o semivariograma é sensível. E, permanecem na análise dos dados porque, segundo WEBSTER (2001), para ambientes contaminados os valores extremos são de interesse, embora alguns analistas removam o 98.^o ou até o 95.^o percentil.

Esta análise de continuidade espacial determinou que os logaritmos da concentração de CO- β formam uma variável regionalizada, portanto pode-se prosseguir com a modelação geoestatística.

5.1.3.3 - Krigagem Ordinária

O método de interpolação escolhido foi o de *Krigagem Ordinária*, pois, segundo ISAACS (1989) o mesmo é considerado do tipo “melhor estimador linear não enviesado” e se distingue dos demais métodos por minimizar a variância dos erros (quadrado dos desvios em relação ao erro médio).

Para aplicar o método de krigagem ordinária usaram-se os parâmetros ajustados do semivariograma da FIGURA 28 (p.93), determinados na seção anterior e listados na TABELA 11 (p.94).

Definido o modelo que descreve a continuidade espacial dos logaritmos das concentrações de CO-β, usou-se o módulo Geostatistical Analyst do software ArcGIS (ESRI, 2002) para prever, por Krigagem Ordinária, os pontos não amostrados. Como resultado dessa integração Geoestatística – SIG, a FIGURA 34 (p.102) apresenta as previsões dos logaritmos de CO-β para o centro de Florianópolis e a FIGURA 36 (p.105) apresenta os erros padrões da Krigagem Ordinária.

Observa-se na FIGURA 36 que, na distribuição dos erros padrões dos logaritmos de CO-β, os erros padrões nos pontos amostrados são iguais a zero, porque neste ponto os valores preditos coincidem com os valores observados. Esse fato mostra que a krigagem ordinária é um interpolador exato (ISAACS, 1989).

Também podem ser visualizadas as regiões em que a amostragem deveria ser maior (ruas com pouco tráfego não foram pesquisadas) e que, próximo dos pontos amostrais, o valores dos erros padrões de krigagem é baixo e aumentam na medida em que se afastam dos mesmos.

5.2 - Distribuição do volume de tráfego

Foram amostrados 45.490 veículos (leves, pesados e motos) nos 43 pontos de medições, compostos na proporção mostrada na FIGURA 29.

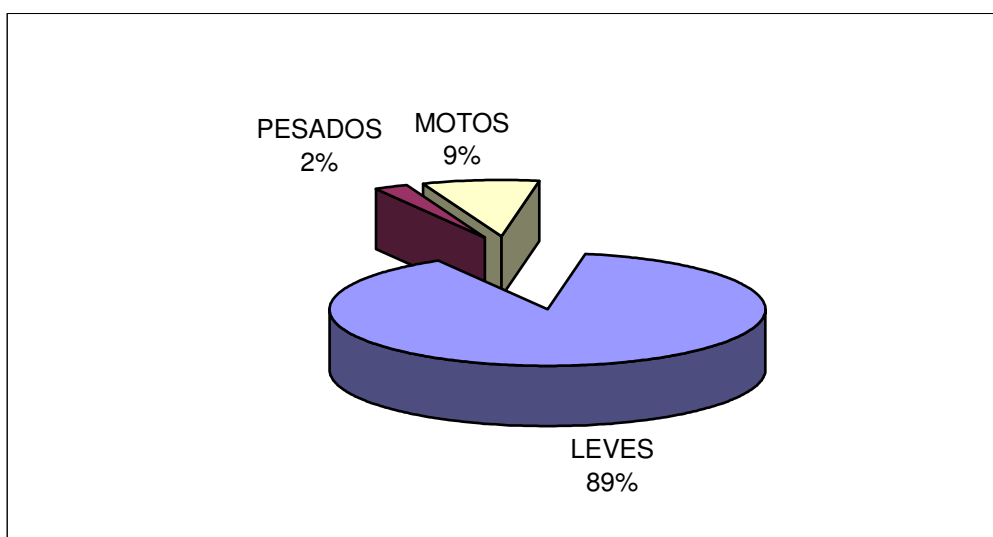


FIGURA 29 – Composição dos veículos amostrados

5.2.1 - Tráfego de Veículos Leves

Diante da composição do tráfego de veículos amostrados (FIGURA 29) e levando-se em conta que o monóxido de carbono tem sua fonte principal de produção nos veículos leves, como mostra a FIGURA 30, e que, além desses fatos, as outras fontes predictoras são multicolineares, como pode ser notado na matriz de correlações (TABELA 13), optou-se pela escolha da variável volume de **veículos leves** como informação secundária para predição do monóxido de carbono.

A não inclusão de uma terceira variável deve-se, além da correlação menor, a baixa representatividade dos veículos pesados (2%) e motos (9%).

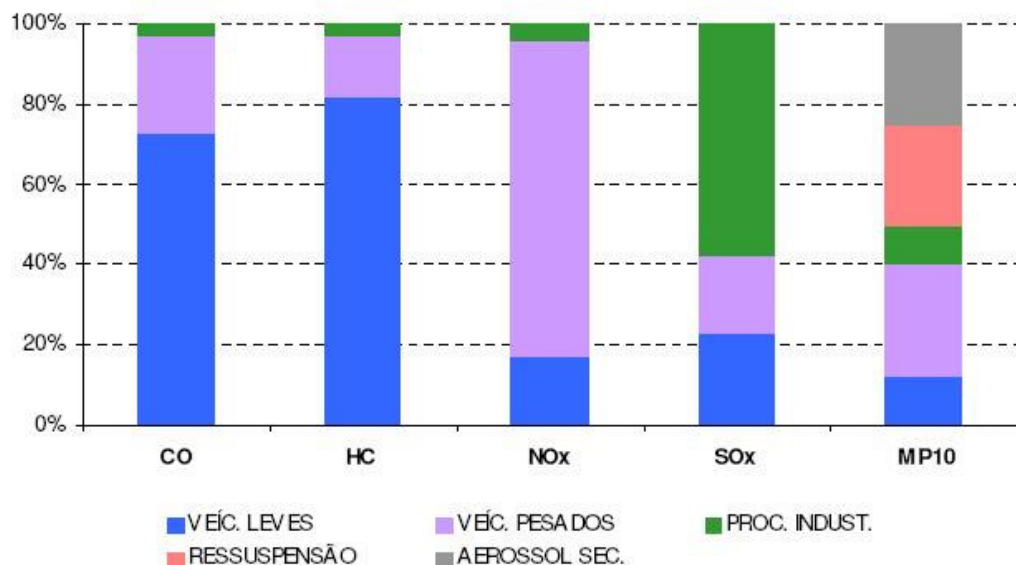


FIGURA 30 - Emissões relativas de poluentes por tipo de fontes
(Fonte: CETESB, 2005)

A distribuição e a sequência de contagem dos 40.482 veículos leves nos 43 pontos da área pesquisada é apresentada na FIGURA 31.

Os picos máximos ocorreram nos pontos P03, P02, P1 da Av. Mauro Ramos, com volumes de 2556, 2142 e 1997 veículos por hora respectivamente. Estes pontos apresentaram 4,9% de veículos pesados e 9% de motos. Esta avenida tem dois sentidos, separados por um canteiro central, faz parte de um anel mais central dos dois anéis viários da cidade de Florianópolis, o outro mais externo, é formado pelas vias que contornam o Morro da Cruz.

Os picos mínimos foram registrados nos pontos P27 - R.Alves de Brito, entre R.G. Wendhausen e R. Luiz Delfino, 140 veículos por hora; P42 - R.dos Ilhéus, entre R.Fernando Machado e R.A. Garibaldi, 233 veículos por hora; P31 - R. Durval M. Souza, com R. Coronel Melo Alvim, 247 veículos por hora. O ponto P27 fica localizado numa rua residencial, de sentido único, atrás do Shopping Beira-Mar. Os outros dois pontos ficam no centro, mas têm uma função de via local.

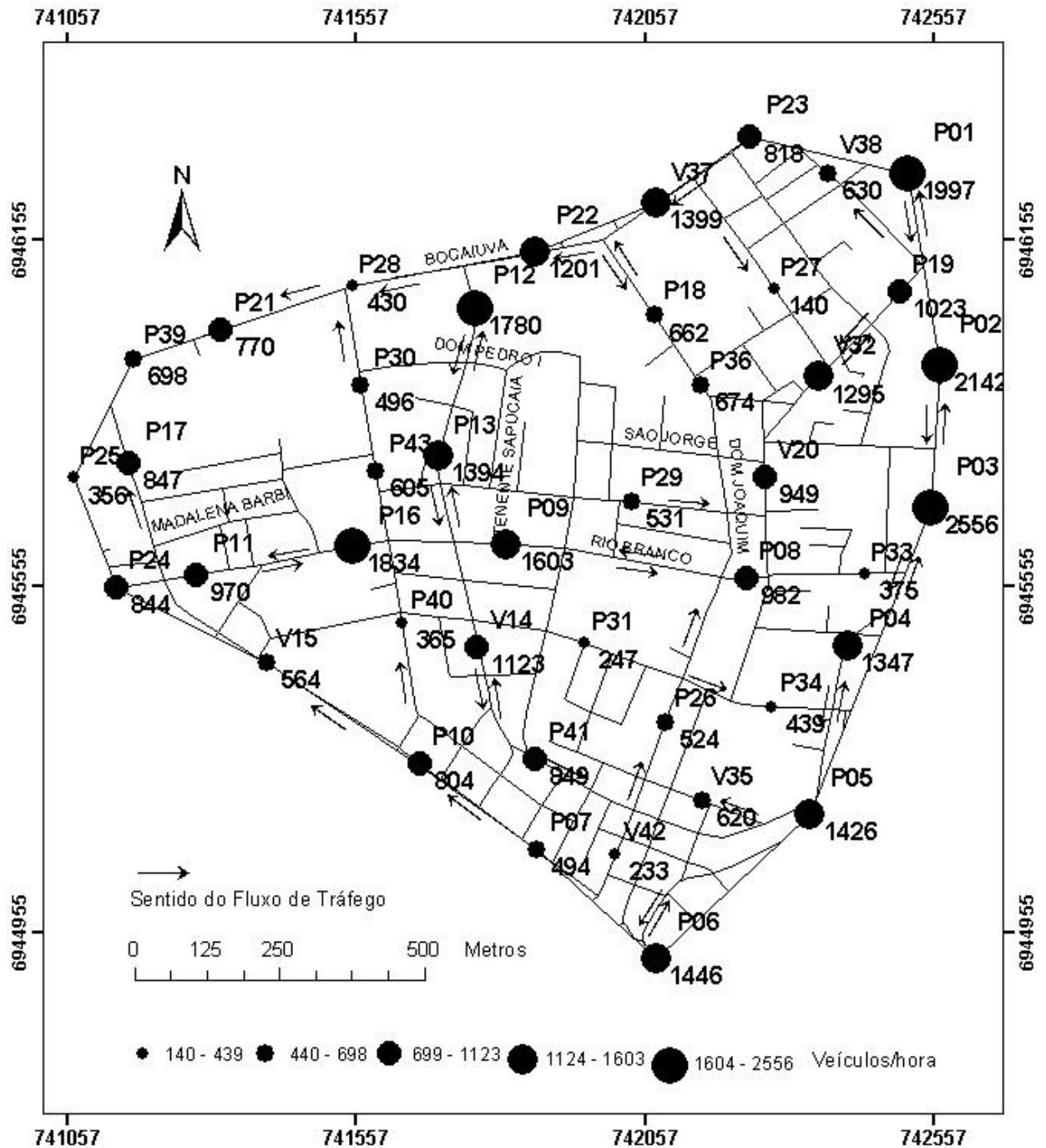


FIGURA 31 – Distribuição dos veículos leves por hora, com 35 pontos para análise espacial (P) e 8 pontos para validação do modelo (V).

5.2.2 - Teste de Normalidade dos Dados

Quando se aplicam os logaritmos na distribuição de veículos leves tem-se um comportamento mais apropriado à normalidade e à variabilidade (o CV cai de 60 para

10%) que os dados da concentração de CO- β , analisados na Seção 4.1.1. O resumo estatístico dos dados de veículos leves e seus logaritmos nos 38 pontos utilizados na modelagem estão na TABELA 12. Os detalhes estão na TABELA B (p.126), ANEXO A.

TABELA 12 – Resumo estatístico de veículos leves (veic/h) e seus logarítmicos.

	Veículos(leves)	LnVeículos
Médias	971,5000	6,6829
Variância(s^2)	341284,9590	0,4508
Desvio padrão(s)	584,1960	0,6715
Assimetria(w)	0,8121	-0,4861
Curtose(k)	0,1414	-0,1039
Coeficiente de variação(CV)	60,13%	10,05%

A FIGURA 32 mostra o resultado de normalidade. O ajuste da distribuição dos logaritmos de veículos leves pode ser verificado na FIGURA 33. Os valores que deram origem aos gráficos estão na TABELA B (p.126) do ANEXO A.

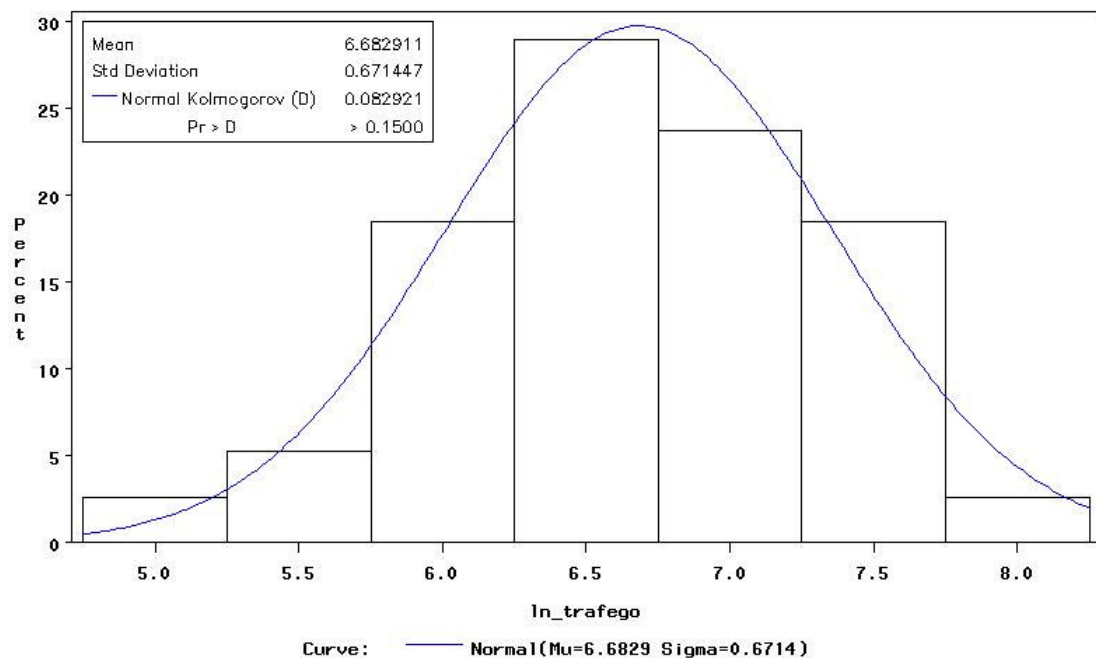


FIGURA 32 - Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os logaritmos dos volumes de tráfego de veículos leves.

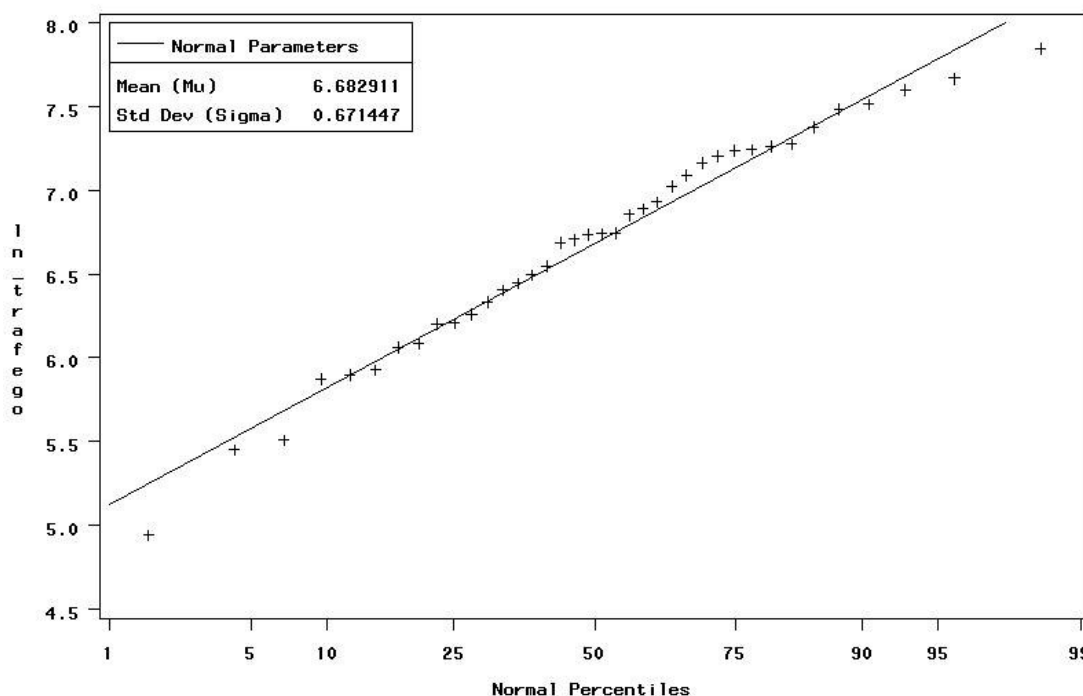


FIGURA 33 – Gráfico de probabilidade normal dos logaritmos dos volumes de veículos leves.

Esta descrição mostra que os logaritmos dos volumes de veículos leves podem ser usados para inferências. Portanto, pode-se prosseguir com a modelagem para prever as concentrações de CO- β em pontos não amostrados.

5.2.3 - Cokrigagem ordinária

O método de estimação descrito na Seção 4.1.3.3 (Krigagem Ordinária) foi realizado usando somente uma variável LNCO (logaritmos de monóxido de carbono). Além dessa variável, têm-se mais três: LNLEVES (logaritmos de veículos leves), LNPES (logaritmos de veículos pesados) e LNMOT (logaritmos de motos). Então, usou-se o método de Cokrigagem Ordinária para melhorar a precisão da predição (GOOVAERTS, 1997). Pois, os resultados de validação cruzada do modelo de krigagem (QUADRO 3) revelam valores altos para os índices de RMSE (Raiz do Erro Médio Quadrático, 0,4807) e ASE (Erro Médio Padrão, 0,4785) e um valor baixo para r (Coeficiente de correlação de Pearson, 0,06) entre os valores observados e preditos.

Buscando-se melhor qualidade da predição, foi selecionada a segunda variável LNLEVES (logaritmos dos veículos leves) como informação adicional, descrita na seção anterior, por apresentar através dos seus logaritmos a melhor correlação existente (0,76) com LNCO, como mostra a TABELA 13.

TABELA 13 – Matriz de correlação para monóxido de carbono (CO), volume de veículos leves (LEVES), pesados (PESAD), motos (MOTOS) e seus respectivos logaritmos (LNCO- β , LNLEV, LNPES, LNMOT)

	CO	LEVES	PESAD	MOTOS	LNCO- β	LNLEV	LNPES	LNMOT
CO	1							
LEVES	0.75	1						
PESAD	0.65	0.83	1					
MOTOS	0.56	0.81	0.76	1				
LNCO- β	0.98	0.76	0.65	0.58	1			
LNLEV	0.72	0.94	0.69	0.78	0.76	1		
LNPES	0.67	0.78	0.82	0.78	0.71	0.78	1	
LNMOT	0.60	0.80	0.69	0.94	0.65	0.87	0.79	1

Observando a matriz de correlação, verifica-se que o monóxido de carbono tem correlação com o volume de veículos leves (0.75), pesados (0.65) e motos (0.56). Os respectivos logaritmos melhoram ainda mais esta correlação (0.76; 0.71; 0.65), no entanto verifica-se, também, que existe multicolinearidade (NETER, 1996) entre as variáveis secundárias, ou seja, a variável volume de veículos leves está relacionada com pesados (0,83) e motos (0,81) e seus logaritmos também (0,78; 0,87). Isto tende a afetar o ajuste do modelo e as inferências sobre a predição de novas observações. Por esta razão, apenas a variável LNLEVES (logaritmo do volume de veículos leves) foi selecionada como informação secundária para o modelo de predição de monóxido de carbono, cujo semivariograma cruzado está detalhado na TABELA 11.

Definido o semivariograma cruzado, aplicou-se a cokrigagem ordinária para prever os logaritmos de CO- β nos pontos não amostrados. Os resultados, geoprocessados são apresentados nas FIGURAS 34 e 36.

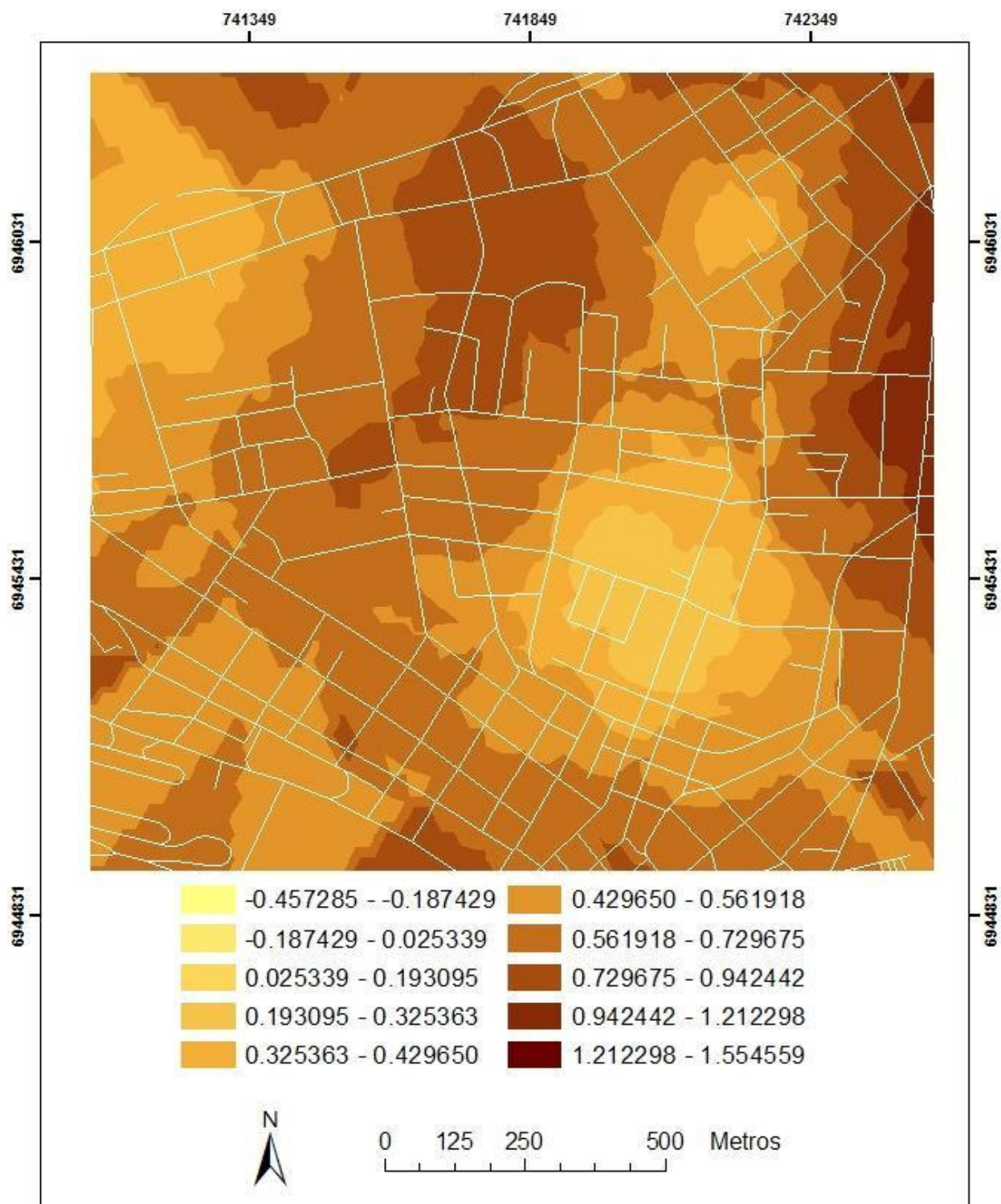


FIGURA 34 – Predições dos logaritmos das concentrações de CO- β , incluindo os logaritmos dos volumes de veículos leves como variável secundária.

A predição dos logaritmos de CO- β por cokrigagem ordinária, tendo como variável secundária os logaritmos de veículos leves, tem comportamento igual aos valores preditos por krigagem, que não mostravam boa qualidade na validação cruzada, fato este superado pelo modelo de cokrigagem que apresenta qualidade superior em todos os índices de validação independente e validação cruzada.

Nas predições por cokrigagem, apresentadas nas FIGURAS 34 e 35 (p.104), verifica-se uma distribuição gradual dos logaritmos das concentrações de CO- β , com valores máximos a nordeste (Av. Mauro Ramos), como era de se esperar, pela distribuição maior do tráfego nesta avenida, mostrado na FIGURA 31 (p.98). Os valores médios da estimacão estão distribuídos do centro para norte e os valores mínimos foram registrados a sudeste (Beira-Mar Sul) provavelmente devido ao vento sul que facilita a dispersão dos gases.

A distribuição dos erros padrões dessa estimativa (FIGURA 36, p.105) mostra que a predição é mais precisa onde os pontos estão mais agrupados. O aumento das distâncias entre os pontos (por exemplo, no centro da área pesquisada) eleva os erros. Os erros padrões são iguais a zero, onde as localizações dos pontos preditos coincidem com os pontos observados (zonas claras).

Nota-se também um aumento gradual dos erros na direção de toda a periferia (zonas mais claras para mais escuras). Pode-se afirmar que a densidade de pontos vizinhos influenciou este comportamento e, mesmo que todos os pontos tivessem uma distribuição regular os pontos periféricos, quando calculados pelo modelo de cokrigagem ou krigagem, tendem a perder a precisão pela falta do ponto vizinho ao lado oposto dos existentes. Portanto, os erros padrões foram baixos em áreas onde existem mais pontos que geram maior entrelaçamento que, em conseqüência, aumentam a precisão dos valores preditos.

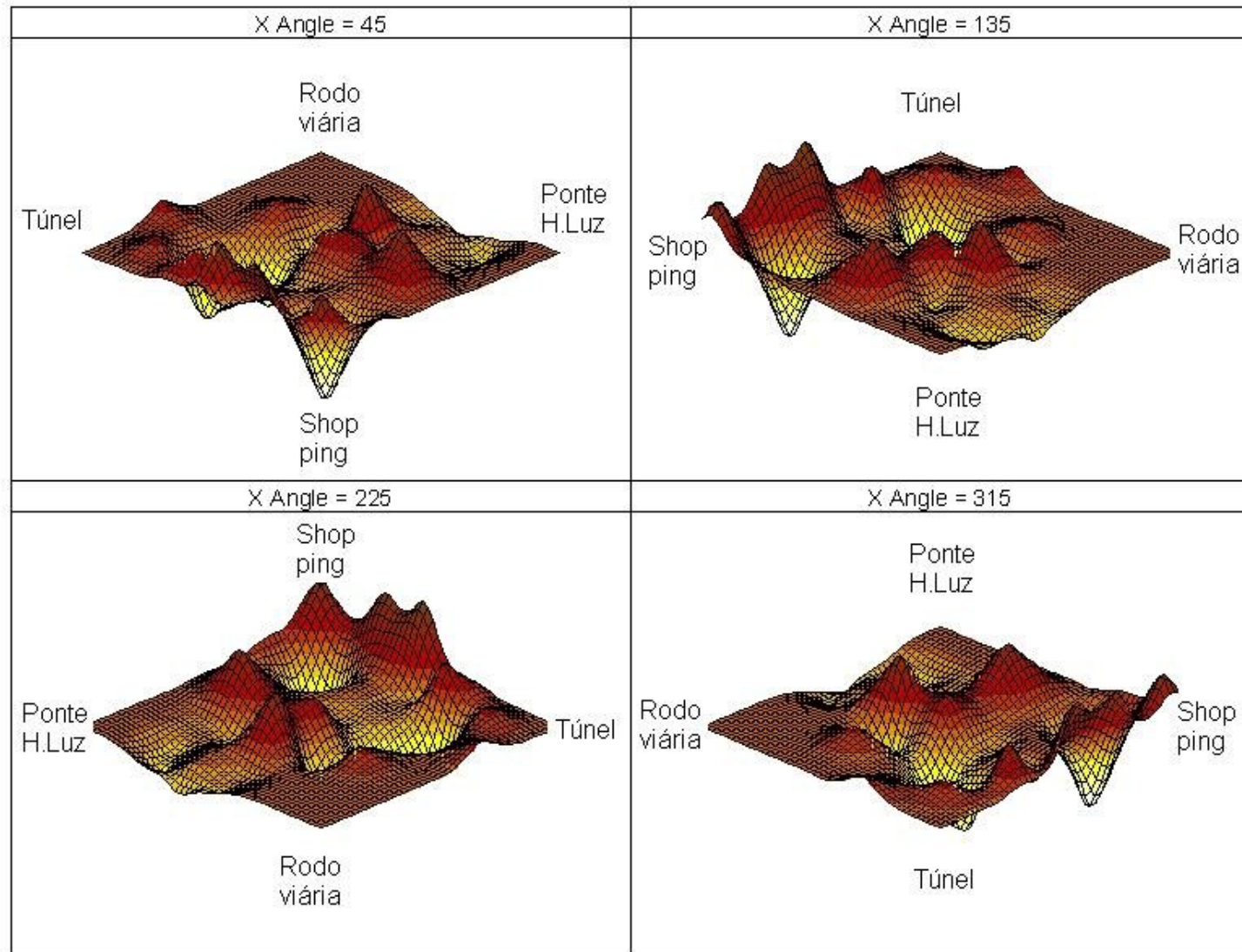


FIGURA 35 – Perspectivas das predições por cokrigagem dos logaritmos de CO- β com vistas aproximadas Shopping-Rodoviária (45°) e Rodoviária-Shopping (225°); Ponte H. Luz-Túnel (135°) e Túnel-Ponte H. Luz (315°).

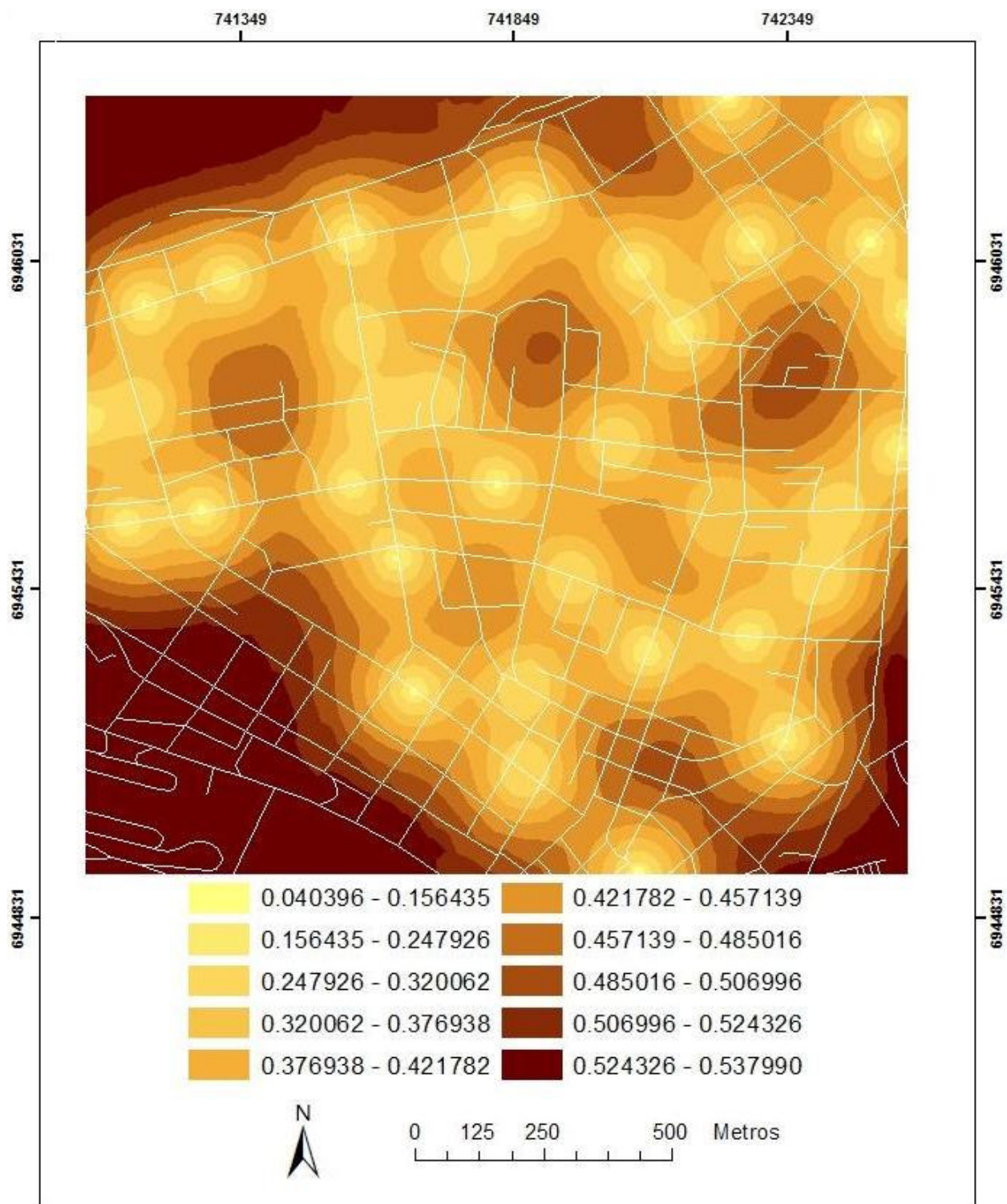


FIGURA 36 – Erros padrões da predição dos logaritmos das concentrações de CO-β, incluindo os logaritmos de veículos leves como covariável.

Apesar dos mapas de predições e erros padrões de predições serem iguais para os modelos de krigagem e cokrigagem, devido a variável secundária ter sido coletada em pontos coincidentes da primária, todos os índices de validação cruzada para a cokrigagem são melhores (QUADRO 4) devido a forte correlação entre as variáveis.

Na seção seguinte, pode-se confirmar essa melhoria da qualidade de predição quando se usa, na cokrigagem, uma variável secundária (logaritmos de veículos leves) fortemente correlacionada com a variável primária (logaritmos de CO-β).

5.3 - Validação dos Modelos

Avalia-se, nesta seção, a qualidade dos resultados de predição dos logaritmos das concentrações de CO-β. Usaram-se as técnicas de validação cruzada e validação independente, que quantificam a qualidade da predição comparando os valores preditos com os observados, através dos seguintes índices estatísticos:

- Erro Médio (Mean Error - ME):

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (26)$$

- Erro Médio Absoluto (Mean Absolute Error - MAE):

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (27)$$

- Raiz do Erro Médio Quadrático (Root Mean Squared Errors – RMSE):

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]^{0,5} \quad (28)$$

- Erro Médio Padrão (Average Standard Error – ASE):

$$ASE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{\sigma}_i \quad (29)$$

- Erro Médio Normalizado (Mean standardized error)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) / \hat{\sigma}_i \quad (30)$$

- Raiz do Erro Médio Quadrático Normalizado (Root Mean Square Standardized Error – RMSSE):

$$RMSSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(P_i - O_i) / \hat{\sigma}_i]^2} \quad (31)$$

- Coeficiente de correlação de Pearson (r):

$$r = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P}_i) \cdot (O_i - \bar{O}_i)}{S_O S_P} \quad (32)$$

- Índice de concordância (d), WILLMOTT, 1981:

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right], \quad (33)$$

onde, n é o número de observações, P_i é o valor predito, O_i é o valor observado, e \bar{O} é a média dos dados observados. O d - índice de concordância varia de 0,0 (mínimo) a 1,0 (perfeita concordância entre os valores preditos e observados).

5.3.1 - Validação Cruzada

Para todos os pontos, a validação cruzada seqüencialmente omite um ponto, predizendo este valor usando o resto dos dados, e então compara os valores medidos e preditos. As estatísticas calculadas servem como diagnósticos que indicam se o modelo é razoável para o mapa produzido (JOHNSTON, 2001).

5.3.1.1 - Para krigagem ordinária

O modelo de krigagem ordinária foi desenvolvido na Seção 4.1.3.3. O QUADRO 3 apresenta um resumo estatístico dos erros resultantes da validação cruzada para este modelo de predição. Os valores que deram origem a este quadro estão na TABELA C (p.127) do ANEXO A.

QUADRO 3 – Resumo estatístico da validação cruzada para krigagem ordinária

r	d	ASE	ME	MSE	MAE	RMSE	RMSSE
0,0621 Eq 32	0,3359 Eq.33	0,4778 Eq. 29	-0,0367 Eq. 26	-0,0684 Eq. 30	0,3686 Eq. 27	0,4807 Eq. 28	1,0078 Eq. 31

A validação cruzada mostra bons índices para o modelo de krigagem, especialmente, quanto ao MSE - erro médio normalizado (EQUAÇÃO 30) próximo a zero e ao RMSSE - raiz do erro médio quadrático normalizado (EQUAÇÃO 31) próximo a um. No entanto, notam-se um baixo valor de r – coeficiente de correlação (EQUAÇÃO 33) e um alto valor do ASE - erro médio padrão (EQUAÇÃO 29), que podem afetar a precisão do modelo.

5.3.1.2 - Para Cokrigagem Ordinária

O modelo de cokriging ordinária foi desenvolvido na Seção 4.2.3. O QUADRO 4 mostra um resumo estatístico dos resultados da validação cruzada para este modelo de predição. Os valores que deram origem ao quadro estão na TABELA D (p.128).

QUADRO 4 – Resumo estatístico da validação cruzada para cokrigagem ordinária

r	d	ASE	ME	MSE	MAE	RMSE	RMSSE
0,9046 Eq 32	0,9490 Eq.33	0,2090 Eq. 29	-0,0141 Eq. 26	-0,0691 Eq. 30	0,1590 Eq. 27	0,1949 Eq. 28	0,9297 Eq. 31

Todos os índices da validação cruzada para a cokrigagem mostram que a predição tem boa qualidade, principalmente quanto ao r (0.90) – coeficiente de correlação (EQUAÇÃO 32) e ao d (0.95) - índice de concordância (EQUAÇÃO 33). Além desses, outros índices recomendados por JOHNSTON (2001), atingiram valores ideais como o MSE - erro médio normalizado (EQUAÇÃO 30) próximo ao valor zero, RMSE - raiz do erro médio quadrático (EQUAÇÃO 28) e ASE -erro médio padrão (EQUAÇÃO 29) com menos da metade dos valores encontrados na krigagem e, finalizando, a RMSSE - raiz do erro médio quadrático normalizado (EQUAÇÃO 31) próximo ao valor um. Portanto, o modelo de predição dos logaritmos de CO- β por cokrigagem é adequado.

5.3.2 - Validação independente

Para validar os modelos foram selecionados aleatoriamente, pelo módulo de geoestatística do sistema de informações geográficas, oito pontos (18,6%) dos quarenta e três pesquisados, distribuídos espacialmente conforme a FIGURA 31 (p.98). Na TABELA 14, encontram-se as coordenadas e um resumo estatístico dos valores observados nesses pontos utilizados para validar, de forma independente, os modelos de predição de krigagem e cokrigagem.

TABELA 14 - Pontos para validação independente

Pontos	X	Y	CO	CO	Ln	Veículos	Ln
Aleatórios	(leste)	(norte)	(ppm/h)	- β	CO- β	(leves/h)	Veiculos
V15	741401.8	6945420.7	3.6	1.8330	0.6060	564	6.3351
V14	741767.1	6945448.9	3.0	1.2330	0.2095	1123	7.0238
V42	742005.7	6945089.2	3.3	1.5330	0.4272	233	5.4510
V37	742076.6	6946217.0	4.0	2.2330	0.8033	1399	7.2435
V35	742155.4	6945181.9	3.2	1.4330	0.3598	620	6.4297
V20	742264.0	6945744.1	3.4	1.6330	0.4904	949	6.8554
V32	742357.4	6945916.7	4.1	2.3330	0.8472	1295	7.1663
V38	742373.5	6946269.0	3.8	2.0330	0.7095	630	6.4457
Total			28.4000	14.2640	4.4528	6813.00	52.9505
Média			3.5500	1.7830	0.5566	851.63	6.6188
Variância (s^2)			0.1543		0.0502	163931.41	0.3457
Desv.padrão(s)			0.3928		0.2241	404.88	0.5880
CV(%)			11.06		40.26	47.54	8.88

Os valores das concentrações de CO, nos pontos para validação independente dos modelos, foram transformados em logaritmos de base natural, da mesma forma que os dados utilizados para construir os modelos de krigagem e cokrigagem descritos na Seção 4.1.1.

Sendo visível, entre os parâmetros, a maior redução da variância para o logaritmo de veículos leves.

A TABELA 14 mostra que a transformação logarítmica teve maior influência na redução dos parâmetros da variância, principalmente da variável veículos leves. Essa redução respalda uma análise de validação coerente com os princípios da krigagem quanto à minimização das variâncias.

5.3.2.1 - Para Krigagem Ordinária

Os valores dos logaritmos de CO- β , da predição por krigagem, foram obtidos pelas coordenadas dos pontos de validação mostrados na TABELA 14, através do modelo que gerou o mapa de predição mostrado na FIGURA 34 (p.102). O QUADRO 5 apresenta um resumo estatístico dos erros encontrados entre os valores preditos e

observados para validação independente do modelo de krigagem ordinária. Os valores que deram origem a este quadro estão na TABELA E (p.129) do ANEXO A.

QUADRO 5 - Resumo estatístico dos resultados da validação independente para krigagem ordinária.

r	d	ASE	ME	MSE	MAE	RMSE	RMSSE
0.6756 Eq 32	0.7647 Eq.33	0.4728 Eq. 29	-0.0091 Eq. 26	-0.0108 Eq. 30	0.1198 Eq. 27	0.1551 Eq. 28	0.3283 Eq. 31

5.3.2.2 - Para Cokrigagem Ordinária

Os logaritmos das predições de CO por cokrigagem, foram obtidos da mesma maneira que na seção anterior, através do modelo que gerou o mapa das predições mostrado na FIGURA 34 (p.102). O QUADRO 6 apresenta um resumo estatístico dos erros encontrados entre os valores preditos e observados para validação independente do modelo de cokrigagem ordinária. Os valores que deram origem a este quadro estão na TABELA E (p.129) do ANEXO A (os mesmos valores da krigagem).

QUADRO 6 - Resumo estatístico dos resultados da validação independente para cokrigagem ordinária

r	d	ASE	ME	MSE	MAE	RMSE	RMSSE
0.6756 Eq 32	0.7647 Eq.33	0.4728 Eq. 29	-0.0091 Eq. 26	-0.0108 Eq. 30	0.1198 Eq. 27	0.1551 Eq. 28	0.3283 Eq. 31

Verifica-se que os resultados do QUADRO 5 são iguais aos do QUADRO 6, portanto a validação independente não mede a influência da variável secundária adicionada ao modelo. Além disso, o valor do RMSSE - raiz do erro médio quadrático normalizado (EQUAÇÃO 31) não é representativo porque a quantidade de dados utilizada para validação (8) é baixa em relação ao conjunto usado para predição (35).

No entanto, os outros índices da validação independente confirmam que os modelos de krigagem e cokrigagem são adequados para predição dos logaritmos de CO- β , como o MSE - erro médio normalizado (EQUAÇÃO 30) próximo ao valor zero, o r - coeficiente

de correlação (EQUAÇÃO 32) igual a 0.68, o d - índice de concordância (EQUAÇÃO 33) igual a 0.76 e um valor baixo para a RMSE - raiz do erro médio quadrático (EQUAÇÃO 28).

5.4 - Retorno aos Dados Originais (Back-transformation)

Às concentrações de CO foram aplicadas (subtraídas) uma constante de 1,767 e uma transformação logarítmica para se alcançar a normalidade dos dados que eram assimétricos (TABELA 10, p.87). Pois, segundo WEBSTER (2001), o variograma é sensível à assimetria devido à pequena quantidade de valores altos contribuírem muito às diferenças quadradas. Garantiu-se a remoção da assimetria e a estabilidade das variâncias por logaritmos naturais. Assim, usou-se a krigagem lognormal.

Agora, desejam-se as predições expressas em unidades originais da concentração de monóxido de carbono (CO, ppm).

Segundo WEBSTER (2001), retorno da transformação é simples. Denota-se a predição da krigagem do logaritmo natural de x_0 como $\hat{Y}(x_0)$ e a variância como $\sigma^2(x_0)$, então a EQUAÇÃO 34 retorna o valor original:

$$\hat{Z}_{OK}(x_0) = \exp\{\hat{Y}_{OK}(x_0) + \sigma_{OK}^2(x_0)/2 - \phi\}, \quad (34)$$

Onde ϕ é o multiplicador de Lagrange.

Para demonstrar a aplicação da EQUAÇÃO 34 usou-se o ponto de validação V15 (TABELA 14). Neste ponto (741401.8; 6945420.7), a predição da krigagem do logaritmo natural $\hat{Y}(x_{15}) = 0.5915$ e a variância $\sigma^2(x_{15}) = 0.5030^2 = 0.2530$ (TABELA E, p.129, ANEXO A). Foram escolhidos os pontos vizinhos a V15 (9 pontos) mostrados na TABELA 15.

TABELA 15 – Pontos da vizinhança de V15

PT	X	Y	LEVES	CO	CO- β^*	LN(CO- β)
P07	741870	6945097	494	3.6	1.833	0.6060
P10	741667	6945248	804	4.1	2.333	0.8472
P11	741281	6945574	970	3.4	1.633	0.4904
P16	741552	6945623	1834	5.7	3.933	1.3694
P17	741163	6945766	847	3.5	1.733	0.5499
P24	741141	6945552	844	3.3	1.533	0.4272
P40	741636	6945490	365	2.9	1.133	0.1249
P41	741868	6945254	849	3.6	1.833	0.6060
P43	741591	6945754	605	3.5	1.733	0.5499

* $\beta = 1,767$

Resta calcular o último termo ϕ - Multiplicador de Lagrange, que é obtido pela seguinte rotina, modificada das notas de aula de DOWNER (2006) e executada no software Splus (INSIGHTFUL, 2002) pelo pacote Gstat (PEBESMA, 2004), também pode ser executada em ambiente R (CRAN, 2006).

distâncias entre os pontos vizinhos a V15

```
dfunc(xvect, yvect) # função dfunc
```

Matriz transposta das distâncias:

```
distmat <- dfunc(xvect, yvect)
distmat2 <- distmat + t(distmat)
```

Ajuste ao modelo penta-esférico

```
cmat <- 0.22223 * ((15/8) * (distmat2/320) - ((5/4) * (distmat2/320)**3)
+ ((3/8) * (distmat2/320)**5))
```

Corte das semivariâncias (após 320 metros são constantes)

```
cmat[(cmat > 0.22223)] <- 0.22223
```

Adição de uns e zero para minimizar o erro da variância (ISAACS, 1989, p. 286)

```
cmat <- rbind(cmat, rep(1, 9))
cmat <- cbind(cmat, c(rep(1, 9), 0))
```

coordenadas do ponto a ser estimado

```
xvectb <- c(xvect, 741402)
yvectb <- c(yvect, 6945421)
```

Distâncias, inclusive do ponto a ser estimado

```
distmatb <- dfunc(xvectb, yvectb)
```

```

# Ajustes do modelo penta-esférico para o ponto a ser estimado
distvect0 <- distmatb[1:9,10]
dvect0 <- 0.22223*(((15/8)*(distvect0/320) -
((5/4)*(distvect0/320)**3) + ((3/8)*(distvect0/320)**5)))

# Corte das semivariâncias (após 320 metros são constantes)
dvect0[(dvect0>0.22223)] <- 0.22223

# Inverso da matriz de ajuste
cmatinv <- solve(cmat)

# Conjunto de pesos que minimizam as variâncias e o
# Multiplicador de Lagrange (último elemento da matriz = 0,0277)
(w <- w[1:10])

```

Substituindo estes valores na EQUAÇÃO 34 e adicionando a constante usada na transformação (1,767), encontra-se o retorno da concentração original de CO no ponto V15:

$$\hat{Z}_{OK}(x_{15}) = \exp\{0,5015 + 0,2530/2 - 0,0277\} = 1,823 + 1.767 = 3.6 \text{ ppm}$$

E assim procedendo, retorna-se o valor de CO em qualquer ponto predito com o modelo ajustado pela função penta-esférica.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 - CONCLUSÕES

O estudo permitiu apresentar um método rápido, preciso e de baixo custo para prever espacialmente a concentração de monóxido de carbono gerada pelo volume de tráfego veicular urbano. Para alcançar este propósito, fez-se o levantamento dessas variáveis em 43 pontos georreferenciados no centro da cidade de Florianópolis, no período de abril a agosto de 2005.

As concentrações de monóxido de carbono estão bem abaixo do valor máximo de 35 ppm, padrão de qualidade do ar para exposição de 1 hora, estabelecido pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente. Essas concentrações apresentaram uma média de 3,8 ppm, com valor mínimo de 2,4 ppm registrado no ponto P27 - Rua Alves de Brito e valor máximo de 6,5 ppm, registrado no ponto P03 – Avenida Mauro Ramos.

A emissão de monóxido de carbono é diretamente proporcional ao número de veículos leves circulando, como mostra a concentração mínima no ponto P27, 2,4 ppm para o número mínimo de 140 veículos leves por hora e a concentração máxima no ponto P03, 6,5 ppm para o número máximo de 2556 veículos leves por hora. A emissão de CO também é diretamente proporcional às características urbanas, ou seja, os mínimos e máximos, tanto para CO quanto para o número de veículos leves, ocorreram em área residencial de sentido único e área comercial de sentido duplo respectivamente.

A aplicação da transformação logarítmica de base natural nas concentrações de monóxido de carbono, menos uma constante de 1,767, atingiu a normalidade dos dados, estabilizou a variância da distribuição, não evidenciou tendências e forneceu uma correlação com o logaritmo natural dos veículos leves de 0,76. Portanto, todos os pressupostos das predições espaciais de krigagem e cokrigagem foram atingidos.

Nesse cenário de pesquisa, o alcance da dependência espacial isotrópica sugere que as pesquisas para estas variáveis, no centro da cidade, são consideradas dependentes num raio inferior a 320 metros. Assim, qualquer método de análise para estas variáveis deve considerar que todos os vizinhos dentro desse raio são espacialmente dependentes, caso contrário, perde-se a qualidade dos resultados e, em consequência, haverá desperdício dos recursos aplicados na pesquisa.

Todos os índices aplicados na validação cruzada mostram que a predição espacial por cokrigagem tem alta precisão. Na validação independente, apesar dos índices serem reduzidos pela diferença de dados utilizados na predição e validação, também se pode ver que a predição é adequada.

O uso do SIG nesta investigação proporciona aos pesquisadores de poluição urbana diretrizes que facilitam a aplicação desse método em estudos de representação espacial de monóxido de carbono ou outro poluente urbano gerado pelo tráfego, através das teorias, da validação e das referências expostas.

As ações mitigadoras dos impactos negativos causados pelo tráfego podem ser formuladas a partir dos resultados das concentrações de monóxido de carbono representados espacialmente. Neste trabalho, por exemplo, respaldando-se pelos resultados representados na FIGURA 34 (p.102), os planejadores das cidades brasileiras podem adotar as seguintes ações mitigadoras nos locais onde ocorrem as maiores concentrações de monóxido de carbono e os maiores volumes de tráfego, ou seja, avenidas Mauro Ramos, Rio Branco e Othon Gama Deça: a) reduzir o tráfego nos horários de pico, proibindo apenas um sentido ou reorientando o tráfego para zonas não congestionadas; b) limitar a circulação de veículos pesados; c) aumentar a capacidade da via, possibilitando maior fluidez e menor congestionamento; d) revisar o sistema de circulação com objetivo de desviar o fluxo dessas vias; e) sincronizar semáforos sucessivos para melhorar o fluxo de veículos; e f) Identificar os locais críticos para os motoristas, moradores e pedestres.

Além dessas ações locais, com efeitos a curto prazo, podem ser implementadas as seguintes ações mitigadoras globais, com efeitos a médio e a longo prazo: a) melhorar

e incentivar o uso do transporte coletivo e do transporte não motorizado; b) fiscalizar as emissões dos veículos em circulação; c) criar o plano diretor do transporte urbano; d) melhorar a qualidade dos combustíveis e da infra-estrutura viária; e) limitar o acesso de veículos ao centro da cidade; e f) controlar os pólos geradores de tráfego.

A predição espacial desenvolvida é um método rápido quando aplicado por profissionais da área, de baixo custo por dispensar o uso de equipamentos de medição e softwares proprietários (os softwares livres mais conhecidos estão listados no item d das recomendações). O método pode ser usado para avaliações das concentrações de monóxido de carbono ou servir de base para análises de outros poluentes urbanos gerados pelo tráfego. As avaliações contribuem para o controle de qualidade e monitoramento de desempenho de ações mitigadoras, preventivas e corretivas dos impactos de poluentes causados pelo sistema viário urbano.

6.2 - RECOMENDAÇÕES

Para continuidade e aperfeiçoamento desta pesquisa, os próximos trabalhos devem considerar os seguintes aspectos:

a) Para a medição da concentração de CO:

Aplicar medições contínuas de 24 horas no mesmo ponto e simultaneamente nos outros; fazer medições no ambiente interno das residências ou comércio; analisar a sazonalidade e a variação das concentrações com a altitude, relevo, barreiras, pontos no centro das quadras, temperatura e velocidade do vento.

b) Para a contagem do tráfego:

Usar dispositivos eletrônicos; classificar os automóveis por tempo de uso e por combustível utilizado; estudar o tráfego na alta temporada turística.

c) *Para a via:*

Quantificar a concentração de poluentes nas interseções semaforizadas, nos engarrafamentos, nas vias expressas e nos corredores de ônibus.

d) *Para os softwares:*

Usar softwares livres de estatística espacial como: Spring, Gstat, geoR, GRASS, Spatial, Sgeostat, Fields, geoRglm, RandomFields, Splancs, Spatstat, Spdep, GDAL, Pixmap, Maps, TerraLib.

e) *Para a predição espacial:*

Aplicar a técnica de regressão geograficamente ponderada numa comparação com a cokrigagem.

f) *Para o meio ambiente:*

Consultar a população sobre a qualidade do meio ambiente, nos locais onde se realizaram as medições, com objetivo de comparar as respostas da comunidade às concentrações encontradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Poluição do ar*. NBR.8969. Rio de Janeiro: ABNT, 1985.
- ANDRIOTTI, J. L. S. *Fundamentos de Estatística e Geoestatística*. Editora Unisinos, São Leopoldo/RS, 2003.
- ANTP – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES PÚBLICOS. *O Transporte na Cidade do Século 21*. XII Congresso Brasileiro de Transportes e Trânsito. Recife, 14 a 18 de junho de 1999.
- ARONOFF, S *Geographic Information Systems: A Management Perspective*, Ottawa: WDL Publications, 1989.
- BUCHANAN, C. D. *Traffic in towns - A study of the long term problems of traffic in urban areas*. HMSO, London, 1963.
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. *Principles of Geographic information systems*. Oxford: University Press, 1998.
- CARVALHO, M. S. (org.). *Conceitos básicos de sistemas de informação geográfica e cartografia aplicada à saúde*. Brasília: Organização Panamericana da Saúde/Ministério da Saúde, 2000.
- CETESB. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2005. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, SP, 2005.
- CLARK, I.; HARPER, W. V. *Practical Geostatistics 2000*. Columbus: Ecosse North América Llc, 2000. 442p.
- CLARK, I.; HARPER, W. V. *Practical Geostatistics 2000: Answers to exercises*. Columbus: Ecosse North América Llc, 2002. 382p
- CECCA – CENTRO DE ESTUDOS CULTURA E CIDADANIA. *Relatório do Projeto CECCA/FNMA*, Florianópolis, 1997.
- CETESB. Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo - 2005. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. São Paulo, SP, 2005.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. *Qualidade do ar – histórico*. Disponível em: < www.cetesb.sp.gov.br/ar/ar_historico.asp>. Acesso em: 03/11/06.
- CLARK, I.; HARPER, W. V. *Practical Geostatistics 2000: Answers to exercises*. Columbus: Ecosse North América Llc, 2002.

- CRAN. Comprehensive R Archive Network. Disponível em <http://cran.r-project.org>. Acesso em: 01 de agosto 2006.
- CONAMA. *Resolução no 003/90* - Dispõe sobre os Padrões de Qualidade do Ar. Conselho Nacional do Meio Ambiente. DOU, Brasília, Sec. I, p. 15.937 a 15.939, 22 de agosto de 1990.
- CORREIA, D. E. R. e YAMASHITA, Y. Geographic Information System for Traffic Resonant Pollution. GeoSpatial World. Atlanta, Georgia, June 2002.
- COUTINHO, C. I., SEIFFERT, W. Q. e LOCH, C. Cadastro, a base para o controle da degradação do espaço rural. *Geodésia Online* 4/1999.
- CROXFORD, B., PENN, A. Siting considerations for urban pollution monitors. *Atmospheric environmental*. AE 1780. Elsevier, Amsterdam, V32, 1998.
- DEMERS, M. N. *Fundamentals of geographic information systems*. 2nd ed New York: J. Wiley, 2000.
- DENATRAN – Departamento Nacional de Trânsito. *Frota de veículos em junho de 2006*. Disponível em: http://www.denatran.gov.br/Frota_03.htm. Acesso em: 02 de novembro de 2006.
- DOWNER, R. Notas de aula: Geostatistical Spatial Prediction. Disponível em www.stat.lsu.edu/faculty/Downer/SPATIAL/notes0915.doc. Acesso em: 26 de janeiro de 2006.
- DTLR - DEPARTMENT OF TRANSPORT, LOCAL GOVERNMENT AND THE REGIONS. *Transport Statistics Bulletin: Vehicle Licensing Statistics: 2001*. Disponível em: www.dft.gov.uk/stellent/groups/dft_transstats/documents/page/dft_transstats_506336.pdf. Acesso em 02 de novembro de 2006.
- EASTMAN, J.R. IDRISI for Windows Version Kilimanjaro. Clark Labs for Cartographic Technology and Geographic Analysis, Clark University, Worcester, MA, USA, 2003.
- EPA – ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Mobile source*. Disponível em: www.epa.gov/otaq/invtory/overview/examples.htm. Acesso em: 03/11/2006.
- ESRI. ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *ArcGIS version 8.2 software*. Environmental Systems Research Institute, Redlands, CA, USA, 2002.
- ESRI - ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. *Key GIS concepts*. Disponível em: <http://www.esri.com/software/arcgis/concepts/overview.html>. Acesso em: 03 de novembro de 2006.
- FENGER, J. Urban air quality. *Atmospheric Environment*. Elsevier, Amsterdam, vol.33, p.4877-4900, 1999.
- FERRARI, C. *Curso de planejamento municipal integrado: urbanismo*. Ed. Pioneira, São Paulo, 1988.

- FREITAS, I. M. D. P. *Metodologia para determinação da capacidade ambiental de vias urbanas: o caso das interseções semaforizadas*. Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes, 1991) - PET/COPPE/UFRJ.
- GODISH, T. *Air quality*. Lewis publishers, Michigan. 1991.
- GONÇALVES, Vergniaud Calazans. O Automóvel no Brasil. In: HÜNNINGHAUS, Kurt. *História do Automóvel*. Tradução: Maryla Gremo. Vol 2. Boa Leitura Editora, São Paulo, 1966.
- GOOVAERTS, P. *Geostatistics for Natural Resources Evaluation*. New York: Oxford University Press, 1997.
- GUALTIERI, G.; TARTAGLIA, M. Predicting urban traffic air pollution: A gis framework. *Transportation Research*, Elsevier, Amsterdam, vol.3, p.329-336, 1998.
- HEYWOOD, J. B. *Internal combustion engine fundamentals*. McGraw-Hill, New York, 1988.
- HOROWITZ, J. L. *Air quality analysis for urban transportation planning*. MIT Press, London. 1982.
- HYAM, D. *The GIS Files*. Ordnance Survey, Southampton, UK, 2003.
- IBAMA - INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. *Proconve*. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/proconve>. Acesso em: 30 de dezembro de 2006.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estatísticas do século XX*. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/seculooxx/default.shtm>. Acesso em: 02 de novembro de 2006a.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estimativas das populações residentes, em 01.07.2006*. Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas Populacao/Estimativas 2006/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_Populacao/Estimativas_2006/). Acesso em: 02 de novembro de 2006b.
- INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Introdução ao geoprocessamento*. Disponível em: < www.dsr.inpe.br/intro_sr.htm >. Acesso em: 03 de novembro de 2006.
- INSIGHTFUL. *S-PLUS version 6.1 software*. Insightful Corp, Seattle, WA USA, 2002.
- ITE – INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. *Policies of the Institute of Transportation Engineers*. Disponível em: <<http://www.ite.org/aboutite/policies.pdf>>. Acesso em: 02 de novembro de 2006.
- ITE - INSTITUTE OF TRANSPORTATION ENGINEERS. *Transportation and traffic engineering handbook*. Prentice-Hall, New Jersey, 1982.

- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.H. *Applied Geostatistics*. New York: Oxford University Press, 1989. 561p.
- JENSEN, S. S. et al. A Danish decision-support GIS tool for management of urban air quality and human exposures. *Transportation Research Part D*. Elsevier, Amsterdam, vol.6, p.229-241, 2001.
- JENSEN, S. S. Mapping human exposure to traffic air pollution using GIS. *Journal of Hazardous Materials*. Elsevier, Amsterdam, vol. 61, p.385-392, 1998.
- JOHNSTON, K.; HOEF, J. M. V.; KRIVORUCHKO, K.; LUCAS, N. *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. Redlands: ESRI Press, 2001.
- KLUIJVER, H. e STOTER, J. Noise mapping and GIS: optimizing quality and efficiency of noise effect studies. *Computers, Environment and Urban Systems*, Elsevier, Amsterdam, in press, 2001.
- KLUNGBONKONG, P. e TAYLOR, M. A. P. A microcomputer-based-system for multicriteria environmental impacts evaluation of urban road networks. *Computers, Environment and Urban Systems*. Elsevier, Amsterdam, vol.22, p.425-446, 1998.
- KOUSA, A., et al. A model for evaluating the population exposure to ambient air pollution in an urban area. *Atmospheric Environment*, Elsevier, Amsterdam, in press, 2002.
- LI, B. et al. A GIS based road traffic noise prediction model. *Applied Acoustics*. Elsevier, Amsterdam, vol.63, p.679-691, 2002.
- LOCH, R. E. e KIRCHNER, F. F. Banco de dados ambientais de áreas de mineração. *Geodésia Online* 2/2002.
- LONGLEY P., GOODCHILD, M., MAGUIRE, D. e RHIND, D. *Geographic information systems and science*. John Wiley & Sons. New York, 2001.
- MARTINS, J. A. Revisitando Buchanan. *Transportes*, Associação Nacional de Pesquisa em Transportes, Rio de Janeiro, v. 3, n. 1, p. 07-35, 1995.
- MARTINS, J. A. *Transporte, uso do solo e auto-sustentabilidade: Teoria e prática para previsão de impactos sobre a qualidade do ar*. Rio de Janeiro. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes, 1996) - COPPE/UFRJ.
- MENSINK, C. et al. An urban transport emission model for the Antwerp area. *Atmospheric Environment*. Elsevier, Amsterdam, vol.34, p.4595-4602, 2000.
- MYERS, J.C. *Geostatistical Error Management: Quantifying Uncertainty for Environmental Sampling and Mapping*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997.
- NASA – NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *Earth's atmosphere*. Disponível em: <<http://liftoff.msfc.nasa.gov/academy/space/atmosphere.html>>. Acesso em: 03 de novembro de 2006.

- NETER, J., et al. *Applied Linear Regression Models*. 3. ed. Burr Ridge: Richard D. Irwin, Inc. 1996. 720p.
- NYERGES, T. L. *Understanding the scope of GIS: Its relationship to environmental modeling*. In: GOODCHILD, M. F; PARKS, B. O; STEYAERT, L. T. *Environmental modeling with GIS*. New York: Oxford University Press, 1993.
- NOSSO SÉCULO 1900-1910. Abril Cultural, São Paulo, 1980.
- NTU – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS EMPRESAS DE TRANSPORTES URBANOS. *Anuário 2003/2004*. Disponível em: < http://www.ntu.org.br/publicacoes/anu_03_04/index.htm>. Acesso em 10 de novembro de 2006.
- PAREDES, E. A. *Sistema de informação geográfica-Geoprocessamento: princípios e aplicações*. São Paulo: Erica, 1994.
- PEBESMA, E.J. Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers & Geosciences*, 30: 683-691, 2004.
- PIGNATARO, L. J. *Traffic engineering: theory and practice*. Prentice-Hall, New Jersey, 1973.
- RIBEIRO, S. K.; COSTA, C. V.; REAL, M. V.; DAVID, E. G. *Transporte e mudanças climáticas*. Rio de Janeiro: Mauad, 2000.
- ROSSITER, D. *An introduction to applied geostatistics. Part 2 – Theory of random functions Modelling the variogram e Part 4 – Model validation and simulation*. Department of Earth Systems Analysis. International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC). Disponível em <http://www.itc.nl/personal/rossiter>. Acesso em: 26 de agosto de 2006.
- SÁ, A. C. M.; FARIA, E. O.; CAMPOS, M. F. e BRAGA, M. G. C. Moderação do tráfego: uma possibilidade de melhoria da qualidade de vida nas cidades brasileiras. *Anais do IX Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET*, São Carlos, v.3, p. 880-891, 1995.
- SAS INSTITUTE INC. *SAS version 8.01 software*. SAS Institute Inc, Cary, NC, USA, 2000.
- SICHEL, H.S. *The Estimation of Means and Associated Confidence Limits for Small Samples from Lognormal Populations*. Proceedings, Symposium on Mathematical Statistics and Computer Applications in Ore Valuation, South African Institute of Mining & Metallurgy, Johannesburg, p. 106–122. 1966.
- SILVA, G. C. *Tráfego, Monóxido de Carbono e Ruído em Áreas Urbanas: o caso da Cidade de Florianópolis*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

- STERN, A. C. et al. *Fundamentals of air pollution*. 2d Edition. Academic Press, San Diego, California, 1984.
- TOBLER, W. R. (1970). A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography*, 46, 234–240.
- WEBSTER, R.; OLIVER, M. A. *Geostatistics for environmental scientists*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd. 2001.
- WHO - World Health Organization. *Motor Vehicle Air Pollution: Public Health Impact and Control Measures*. World Health Organization, Geneva, Switzerland. (1992a).
- WHO - World Health Organization. *Urban Air Pollution in Megacities of the World*. World Health Organization. Oxford, UK. (1992b).
- WILLMOTT, C.J. *On the validation of models*. *Physical Geography* 2, 184-194. 1981.

ANEXO A - Tabelas Detalhadas

TABELA A – Detalhes do resumo estatístico das concentrações de CO (ppm) e seus logarítmicos mostrados na TABELA 10

Pontos	X(Leste)	Y(Norte)	g_i	$Y_i = \ln(g_i - 1,767)$	$(g_i - \bar{g})^2$	$(y_i - \bar{y})^2$
P01	742512.7	6946268.2	5.5	1.3172	2.7084	0.4682
P02	742568.9	6945936.6	6.1	1.4663	5.0432	0.6944
P03	742551.9	6945689.8	6.5	1.5546	6.9998	0.8493
P04	742408.1	6945451.5	4.8	1.1096	0.8944	0.2271
P05	742343.0	6945159.8	4.1	0.8472	0.0604	0.0459
P06	742076.4	6944909.9	4.2	0.8891	0.1195	0.0656
P07	741869.8	6945097.2	3.6	0.6060	0.0647	0.0007
P08	742232.2	6945568.7	3.4	0.4904	0.2064	0.0203
P09	741817.3	6945626.2	4.4	0.9681	0.2978	0.1123
P10	741666.6	6945247.7	4.1	0.8472	0.0604	0.0459
P11	741280.7	6945573.8	3.4	0.4904	0.2064	0.0203
P12	741763.0	6946035.3	5.4	1.2901	2.3892	0.4318
P13	741699.6	6945779.9	4.1	0.8472	0.0604	0.0459
P16	741551.5	6945622.8	5.7	1.3694	3.4067	0.5423
P17	741163.4	6945765.8	3.5	0.5499	0.1255	0.0069
P18	742072.9	6946022.9	3.4	0.4904	0.2064	0.0203
P19	742498.6	6946064.1	4.1	0.8472	0.0604	0.0459
P21	741323.7	6945998.9	3.2	0.3598	0.4281	0.0746
P22	741866.9	6946132.6	4.4	0.9681	0.2978	0.1123
P23	742238.9	6946332.4	4.1	0.8472	0.0604	0.0459
P24	741141.4	6945551.8	3.3	0.4272	0.3072	0.0423
P25	741067.0	6945741.6	3.1	0.2874	0.5689	0.1194
P26	742091.4	6945317.6	2.7	-0.0694	1.3324	0.4932
P27	742281.4	6946068.6	2.4	-0.4573	2.1149	1.1886
P28	741551.2	6946074.5	3.5	0.5499	0.1255	0.0069
P29	742034.2	6945699.6	3.3	0.4272	0.3072	0.0423
P30	741565.6	6945902.2	3.3	0.4272	0.3072	0.0423
P31	741953.1	6945455.0	2.7	-0.0694	1.3324	0.4932
P33	742437.0	6945576.6	3.3	0.4272	0.3072	0.0423
P34	742276.7	6945345.8	2.7	-0.0694	1.3324	0.4932
P36	742153.9	6945902.2	3.5	0.5499	0.1255	0.0069
P39	741172.3	6945947.7	3.1	0.2874	0.5689	0.1194
P40	741636.3	6945489.6	2.9	0.1249	0.9107	0.2582
P41	741868.0	6945254.2	3.6	0.6060	0.0647	0.0007
P43	741591.0	6945753.5	3.5	0.5499	0.1255	0.0069
Totais			134,9	22,1538	33,5269	7,2322
Médias(\bar{y})			3,8543	0,6330	0,9579	0,2066
Variância(V)			0,9579	0,2066		
Variância(s^2)			0,9861	0,2127		
Desvio padrão(s)			0,9930	0,4612		
Assimetria(w)			1.1054	-0.0003		
Curtose(k)			0.7626	0.0100		
Coeficiente de variação (CV)			25.76	72.86		

TABELA B – Detalhes do resumo estatístico do volume de veículos leves (veic/h)**Mostrados na TABELA 12**

<i>Pontos</i>	X(Leste)	Y(Norte)	Veic_Leves	Ln_Veic_Leves
P01	742512.7	6946268.2	1997	7.5994
P02	742568.9	6945936.6	2142	7.6695
P03	742551.9	6945689.8	2556	7.8462
P04	742408.1	6945451.5	1347	7.2056
P05	742343.0	6945159.8	1426	7.2626
P06	742076.4	6944909.9	1446	7.2766
P07	741869.8	6945097.2	494	6.2025
P08	742232.2	6945568.7	982	6.8896
P09	741817.3	6945626.2	1603	7.3796
P10	741666.6	6945247.7	804	6.6896
P12	741763.0	6946035.3	1780	7.4844
P13	741699.6	6945779.9	1394	7.2399
P14	741767.1	6945448.9	1123	7.0238
P15	741401.8	6945420.7	564	6.3351
P16	741551.5	6945622.8	1834	7.5143
P17	741163.4	6945765.8	847	6.7417
P18	742072.9	6946022.9	662	6.4953
P19	742498.6	6946064.1	1023	6.9305
P20	742264.0	6945744.1	949	6.8554
P22	741866.9	6946132.6	1201	7.0909
P23	742238.9	6946332.4	818	6.7069
P24	741141.4	6945551.8	844	6.7382
P25	741067.0	6945741.6	356	5.8749
P26	742091.4	6945317.6	524	6.2615
P27	742281.4	6946068.6	140	4.9416
P28	741551.2	6946074.5	430	6.0638
P30	741565.6	6945902.2	496	6.2066
P31	742357.4	6945916.7	247	5.5094
P32	741953.1	6945455.0	1295	7.1663
P33	742437.0	6945576.6	375	5.9269
P34	742276.7	6945345.8	439	6.0845
P37	742076.6	6946217.0	1399	7.2435
P38	742373.5	6946269.0	630	6.4457
P39	741172.3	6945947.7	698	6.5482
P40	741636.3	6945489.6	365	5.8999
P41	741868.0	6945254.2	849	6.7441
P42	742005.7	6945089.2	233	5.4510
P43	741591.0	6945753.5	605	6.4052
Totais			36917	253,9506
Médias			971,5000	6,6829
Variância(s²)			341284,9590	0,4508
Desvio padrão(s)			584,1960	0,6715
Assimetria(w)			0,8121	-0,4861
Curtose(k)			0,1414	-0,1039
Coeficiente de variação(CV)			60,13%	10,05%

TABELA C – Detalhes do resumo estatístico dos resultados da validação cruzada para krigagem mostrado no QUADRO 3

X(Leste)	Y(Norte)	Obs.	Pred.	ErroPad	Erro	Erro Norm	Erro Abs	Erro Q.	ErroQ.Norm
741067.0	6945741.6	0.2874	0.4823	0.4377	0.1949	0.4452	0.1949	0.0380	0.1982
741141.4	6945551.8	0.4272	0.6215	0.4804	0.1943	0.4045	0.1943	0.0377	0.1636
741163.4	6945765.8	0.5499	0.3962	0.4220	-0.1537	-0.3642	0.1537	0.0236	0.1326
741172.3	6945947.7	0.2874	0.4198	0.4879	0.1324	0.2713	0.1324	0.0175	0.0736
741280.7	6945573.8	0.4904	0.5524	0.4796	0.0620	0.1293	0.0620	0.0038	0.0167
741323.7	6945998.9	0.3598	0.3872	0.4966	0.0275	0.0553	0.0275	0.0008	0.0031
741551.2	6946074.5	0.5499	0.6367	0.4938	0.0868	0.1759	0.0868	0.0075	0.0309
741551.5	6945622.8	1.3694	0.4252	0.4493	-0.9442	-2.1017	0.9442	0.8916	4.4170
741565.6	6945902.2	0.4272	0.6533	0.4642	0.2260	0.4869	0.2260	0.0511	0.2371
741591.0	6945753.5	0.5499	0.8929	0.4072	0.3431	0.8426	0.3431	0.1177	0.7100
741636.3	6945489.6	0.1249	0.8593	0.4783	0.7345	1.5357	0.7345	0.5395	2.3584
741666.6	6945247.7	0.8472	0.5866	0.5058	-0.2606	-0.5152	0.2606	0.0679	0.2654
741699.6	6945779.9	0.8472	0.6190	0.4372	-0.2281	-0.5218	0.2281	0.0520	0.2723
741763.0	6946035.3	1.2901	0.7297	0.4743	-0.5604	-1.1815	0.5604	0.3140	1.3960
741817.3	6945626.2	0.9681	0.4838	0.4853	-0.4843	-0.9980	0.4843	0.2346	0.9960
741866.9	6946132.6	0.9681	0.8550	0.4764	-0.1132	-0.2375	0.1132	0.0128	0.0564
741868.0	6945254.2	0.6060	0.4196	0.4688	-0.1864	-0.3975	0.1864	0.0347	0.1580
741869.8	6945097.2	0.6060	0.5077	0.4874	-0.0982	-0.2015	0.0982	0.0096	0.0406
741953.1	6945455.0	-0.0694	0.4630	0.4867	0.5323	1.0938	0.5323	0.2834	1.1965
742034.2	6945699.6	0.4272	0.4725	0.4962	0.0453	0.0913	0.0453	0.0021	0.0083
742072.9	6946022.9	0.4904	0.5625	0.4719	0.0721	0.1527	0.0721	0.0052	0.0233
742076.4	6944909.9	0.8891	0.5624	0.5217	-0.3267	-0.6262	0.3267	0.1067	0.3922
742091.4	6945317.6	-0.0694	0.3409	0.4830	0.4102	0.8494	0.4102	0.1683	0.7214
742153.9	6945902.2	0.5499	0.5387	0.4696	-0.0112	-0.0238	0.0112	0.0001	0.0006
742232.2	6945568.7	0.4904	0.3515	0.4922	-0.1389	-0.2823	0.1389	0.0193	0.0797
742238.9	6946332.4	0.8472	0.6948	0.5211	-0.1523	-0.2923	0.1523	0.0232	0.0854
742276.7	6945345.8	-0.0694	0.6034	0.4707	0.6727	1.4290	0.6727	0.4525	2.0421
742281.4	6946068.6	-0.4573	0.8143	0.4913	1.2715	2.5879	1.2715	1.6168	6.6974
742343.0	6945159.8	0.8472	0.4310	0.5233	-0.4161	-0.7952	0.4161	0.1732	0.6324
742408.1	6945451.5	1.1096	0.4077	0.4500	-0.7018	-1.5597	0.7018	0.4926	2.4326
742437.0	6945576.6	0.4272	1.0859	0.4427	0.6586	1.4878	0.6586	0.4338	2.2137
742498.6	6946064.1	0.8472	0.9909	0.4678	0.1438	0.3074	0.1438	0.0207	0.0945
742512.7	6946268.2	1.3172	0.6447	0.5252	-0.6725	-1.2804	0.6725	0.4522	1.6394
742551.9	6945689.8	1.5546	0.6052	0.4950	-0.9494	-1.9179	0.9494	0.9013	3.6784
742568.9	6945936.6	1.4663	0.7713	0.4811	-0.6950	-1.4445	0.6950	0.4830	2.0866
Totais		22.1538	20.8691	16.7216	-1.2848	-2.3950	12.9010	8.0889	35.5502
Média		0.6330	0.5963	0.4778	-0.0367	-0.0684	0.3686	0.2311	1.0157

Índices Estatísticos	r	d	ASE	ME	MSE	MAE	RMSE	RMSSE
	0.0621	0.3359	0.4778	-0.0367	-0.0684	0.3686	0.4807	1.0078
	Eq.32	Eq.33	Eq.29	Eq.26	Eq.30	Eq.27	Eq.28	Eq. 31

TABELA D – Detalhes do resumo estatístico dos resultados da validação cruzada para cokrigagem mostrado no QUADRO 4

X(Leste)	Y(Norte)	Obs.	Pred.	Erro Pad	Erro	Erro Norm	Erro Abs	Erro Q.	ErroQ.Norm
741067.0	6945741.6	0.2874	-0.0533	0.2105	-0.3407	-1.6183	0.3407	0.1161	2.6188
741141.4	6945551.8	0.4272	0.6552	0.2148	0.2280	1.0613	0.2280	0.0520	1.1264
741163.4	6945765.8	0.5499	0.5592	0.2017	0.0093	0.0462	0.0093	0.0001	0.0021
741172.3	6945947.7	0.2874	0.5204	0.2155	0.2330	1.0814	0.2330	0.0543	1.1694
741280.7	6945573.8	0.4904	0.7580	0.2112	0.2675	1.2665	0.2675	0.0716	1.6040
741323.7	6945998.9	0.3598	0.6394	0.2126	0.2797	1.3153	0.2797	0.0782	1.7300
741551.2	6946074.5	0.5499	0.2263	0.2100	-0.3236	-1.5409	0.3236	0.1047	2.3743
741551.5	6945622.8	1.3694	1.0957	0.2022	-0.2737	-1.3535	0.2737	0.0749	1.8320
741565.6	6945902.2	0.4272	0.3390	0.2058	-0.0882	-0.4288	0.0882	0.0078	0.1838
741591.0	6945753.5	0.5499	0.4692	0.2000	-0.0807	-0.4033	0.0807	0.0065	0.1626
741636.3	6945489.6	0.1249	0.1482	0.2046	0.0233	0.1139	0.0233	0.0005	0.0130
741666.6	6945247.7	0.8472	0.5994	0.2133	-0.2477	-1.1612	0.2477	0.0614	1.3484
741699.6	6945779.9	0.8472	1.0086	0.2020	0.1615	0.7991	0.1615	0.0261	0.6386
741763.0	6946035.3	1.2901	1.2140	0.2084	-0.0761	-0.3650	0.0761	0.0058	0.1332
741817.3	6945626.2	0.9681	1.0480	0.2062	0.0799	0.3873	0.0799	0.0064	0.1500
741866.9	6946132.6	0.9681	0.9793	0.2086	0.0112	0.0537	0.0112	0.0001	0.0029
741868.0	6945254.2	0.6060	0.5875	0.2062	-0.0184	-0.0894	0.0184	0.0003	0.0080
741869.8	6945097.2	0.6060	0.1912	0.2119	-0.4148	-1.9574	0.4148	0.1720	3.8313
741953.1	6945455.0	-0.0694	-0.1569	0.2063	-0.0876	-0.4244	0.0876	0.0077	0.1801
742034.2	6945699.6	0.4272	0.2911	0.2084	-0.1362	-0.6534	0.1362	0.0185	0.4269
742072.9	6946022.9	0.4904	0.5821	0.2065	0.0917	0.4442	0.0917	0.0084	0.1973
742076.4	6944909.9	0.8891	1.0472	0.2181	0.1581	0.7248	0.1581	0.0250	0.5254
742091.4	6945317.6	-0.0694	0.2561	0.2074	0.3255	1.5695	0.3255	0.1059	2.4634
742153.9	6945902.2	0.5499	0.5317	0.2050	-0.0181	-0.0885	0.0181	0.0003	0.0078
742232.2	6945568.7	0.4904	0.7340	0.2081	0.2436	1.1707	0.2436	0.0593	1.3704
742238.9	6946332.4	0.8472	0.7073	0.2144	-0.1398	-0.6521	0.1398	0.0196	0.4253
742276.7	6945345.8	-0.0694	0.2031	0.2064	0.2724	1.3199	0.2724	0.0742	1.7422
742281.4	6946068.6	-0.4573	-0.3877	0.2067	0.0696	0.3368	0.0696	0.0048	0.1134
742343.0	6945159.8	0.8472	0.8112	0.2183	-0.0360	-0.1647	0.0360	0.0013	0.0271
742408.1	6945451.5	1.1096	0.8273	0.2062	-0.2822	-1.3686	0.2822	0.0796	1.8730
742437.0	6945576.6	0.4272	0.2420	0.2055	-0.1852	-0.9012	0.1852	0.0343	0.8121
742498.6	6946064.1	0.8472	0.9174	0.2102	0.0702	0.3341	0.0702	0.0049	0.1116
742512.7	6946268.2	1.3172	1.3287	0.2184	0.0115	0.0525	0.0115	0.0001	0.0028
742551.9	6945689.8	1.5546	1.3529	0.2125	-0.2016	-0.9489	0.2016	0.0407	0.9003
742568.9	6945936.6	1.4663	1.3868	0.2114	-0.0795	-0.3760	0.0795	0.0063	0.1414
Totais		22.1538	21.6598	7.3155	-0.4941	-2.4182	5.5660	1.3299	30.2495
Média		0.6330	0.6189	0.2090	-0.0141	-0.0691	0.1590	0.0380	0.8643

Índices Estatísticos	r	d	ASE	ME	MSE	MAE	RMSE	RMSSE
	0.9046	0.9490	0.2090	-0.0141	-0.0691	0.1590	0.1949	0.9297
	Eq.32	Eq.33	Eq.29	Eq.26	Eq.30	Eq.27	Eq.28	Eq. 31

TABELA E – Detalhes do resumo estatístico dos resultados da validação independente para krigagem ordinária mostrado nos QUADROS 5 e 6

X(Leste)	Y(Norte)	Obs.	Pred.	Erro Pad	Erro	Erro Norm	Erro Abs	Erro Q.	ErroQ.Norm
741401.8	6945420.7	0.6060	0.5915	0.5030	-0.0145	-0.0288	0.0145	0.0002	0.0008
741767.1	6945448.9	0.2095	0.3818	0.4498	0.1723	0.3832	0.1723	0.0297	0.1468
742005.7	6945089.2	0.4272	0.5820	0.4606	0.1547	0.3359	0.1547	0.0239	0.1128
742076.6	6946217.0	0.8033	0.6128	0.4933	-0.1906	-0.3863	0.1906	0.0363	0.1493
742155.4	6945181.9	0.3598	0.3728	0.4701	0.0130	0.0277	0.0130	0.0002	0.0008
742264.0	6945744.1	0.4904	0.4826	0.4802	-0.0078	-0.0163	0.0078	0.0001	0.0003
742357.4	6945916.7	0.8472	0.5446	0.4791	-0.3026	-0.6316	0.3026	0.0915	0.3989
742373.5	6946269.0	0.7095	0.8120	0.4463	0.1025	0.2296	0.1025	0.0105	0.0527
Totais		4.4528	4.3800	3.7824	-0.0729	-0.0866	0.9580	0.1925	0.8624
Médias		0.5566	0.5475	0.4728	-0.0091	-0.0108	0.1198	0.0241	0.1078

Índices Estatísticos	r	d	ASE	ME	MSE	MAE	RMSE	RMSSE
	0.6756	0.7647	0.4728	-0.0091	-0.0108	0.1198	0.1551	0.3283
	Eq.32	Eq.33	Eq.29	Eq.26	Eq.30	Eq.27	Eq.28	Eq. 31

ANEXO B - Transformação Logarítmica e Códigos de Programação

TRANSFORMAÇÃO LOGARÍTMICA:

A transformação logarítmica pode ser explicada através deste pequeno exemplo de média enviesada no retorno da distribuição original (back transformation).

Fonte: ISAKS e SRIVASTAVA (1989), p.194:

	Valor	Logaritmo
	3	1.0986
	6	1.7918
	12	2.4849
Médias	7	1.7918
Antilog	-	6

A média dos três números é 7, enquanto a média de seus logaritmos é 1.7918 e o antilog de 1.7918 é 6. Isto demonstra claramente que não se pode considerar os valores dos logaritmos de um conjunto de amostras, computar sua média, (ponderada ou não), e então calcular o antilog da média logarítmica. O resultado é enviesado.

CÓDIGOS DE PROGRAMAÇÃO

Códigos em R para os gráficos apresentados no Capítulo II, Seção 2.3.4 – Semivariogramas Teóricos.

Fonte: Adaptado de Rossiter, D. *An introduction to applied geostatistics. Part 2 – Theory of random functions Modelling the variogram*. Department of Earth Systems Analysis. International Institute for Geo-information Science & Earth Observation (ITC). Disponível em <http://www.itc.nl/personal/rossiter>. Acesso: 26 de agosto de 2006.

```
library (gstat)
plot.it <- function(model, title) {
  plot(h, model(h), type="l", lwd=3, main=paste(title, " "),
  xlab="Distâncias", ylab="Semivariâncias", ylim=c(0,c.total))
  abline(h=c.total, lty=2); text(0.1, c.total, "Patamar", pos=1)
  abline(h=c0, lty=2); text(0.1, c0, "Efeito Pepita", pos=1)
  abline(v=r, lty=2); text(r, 0.05, "Alcance", pos=4)
}
h <- seq(0,10,by=.05)
r <- 6; c.total <- 1; c0 <- .2; c1 <- c.total-c0
vgm.e <- function(h) {c0 + c1 * (1 - exp(-h/a))}
a <- r/3; plot.it(vgm.e, "Exponencial")
vgm.s <- function(h) {c0 + ifelse(h >= a, c1, c1 * ((1.5*h/a) - (0.5*(h/a)^3)))}
a <- r; plot.it(vgm.s, "Esférico")
vgm.g <- function(h) {c0 + c1 * (1 - exp(-(h/a)^2))}
a <- r/sqrt(3) ; plot.it(vgm.g, "Gaussiano")
vgm.p <- function(h) {ha <- h/a; c0 +
  ifelse(h >= a, c1, c1 * (((15/8)*ha) - ((5/4)*ha^3) + ((3/8)*ha^5)))}
a <- r; plot.it(vgm.p, "Penta-esférico")
```

**Códigos do SAS (2000) para estatísticas e gráficos apresentados no Capítulo IV,
Seções 4.1.1 e 4.2.2 – Teste de Normalidade de Kolmogorov-Smirnov:**

```
data co_val;
input co;
lnco_beta=log(co);
cards;
(dados de co-beta)
;
proc print data=co_val;
run;
proc univariate data=co_val noprint;
  var lnco_beta;
  PROBPLOT / normal( mu=est sigma=est color=BLACK l=1 w=1);
  inset normal;
run;
proc capability data=co_val;
  histogram co / normal;
  inset mean std normal(KSD KSDPVAL);
  histogram lnco_beta / normal;
  inset mean std normal(KSD KSDPVAL);
run;
```

ANEXO C - Planilhas de Levantamento de Dados

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 01	LOCAL: Av.Mauro Ramos, entre R. G. Wendhausen e R. V. Konder					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	26/04/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	327	14	25	366	3.8	5.1
17:40/17:50	339	21	29	389	5.4	3.7
17:50/18:00	348	20	27	395	5.1	5.2
18:00/18:10	346	17	25	388	4.4	6.6
18:10/18:20	327	23	28	378	6.1	6.3
18:20/18:30	310	17	33	360	4.7	5.8
TOTAIS (1h)	1997	112	167	2276	4.9	5.5

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 02	LOCAL: Av. Mauro Ramos, entre R. I. Joaquim e R. A. La Porta					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	27/04/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	346	12	36	394	3.0	5
17:40/17:50	409	20	36	465	4.3	5.2
17:50/18:00	318	20	28	366	5.5	6.2
18:00/18:10	365	19	38	422	4.5	6.6
18:10/18:20	380	23	42	445	5.2	6.6
18:20/18:30	324	17	31	372	4.6	6.9
TOTAIS (1h)	2142	111	211	2464	4.5	6.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 03	LOCAL: Av. Mauro Ramos, entre R. A. Daminiani e R. José Boiteux					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	28/04/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	465	17	35	517	3.3	6.8
17:40/17:50	448	22	36	506	4.3	5.6
17:50/18:00	364	17	30	411	4.1	5.8
18:00/18:10	413	12	44	469	2.6	6.0
18:10/18:20	457	26	51	534	4.9	7.0
18:20/18:30	409	13	33	455	2.9	8.0
TOTAIS (1h)	2556	107	229	2892	3.7	6.5

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 04	LOCAL: Av. Hercílio Luz, entre R. E. Brum e R. H. Blumenau					
CENTRO-BAIRRO: (x)				DATA:	3/5/2005	
BAIRRO-CENTRO: (x)				EQUIPTO:	1	
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	214	3	22	239	1.3	4.7
17:40/17:50	273	5	27	305	1.6	5.6
17:50/18:00	202	3	20	225	1.3	4.1
18:00/18:10	216	4	22	242	1.7	4.9
18:10/18:20	233	5	26	264	1.9	4.9
18:20/18:30	209	3	16	228	1.3	4.5
TOTAIS (1h)	1347	23	133	1503	1.5	4.8

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 05		LOCAL: Av. Hercílio Luz, entre R. O. Melo e R. José Jacques				
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	4/5/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	263	5	31	299	1.7	5.1
17:40/17:50	226	8	20	254	3.1	3.9
17:50/18:00	256	5	38	299	1.7	4.1
18:00/18:10	232	5	26	263	1.9	3.9
18:10/18:20	233	1	26	260	0.4	3.9
18:20/18:30	216	4	30	250	1.6	3.6
TOTAIS (1h)	1426	28	171	1625	1.7	4.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 06		LOCAL: Av.Hercílio Luz, entre R. N. Machado e R. Gen. Bittencourt				
CENTRO-BAIRRO: (x)				DATA:		0505/05
BAIRRO-CENTRO: (x)				EQUIPTO:		1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	205	7	33	245	2.9	3.9
17:40/17:50	220	7	33	260	2.7	4.0
17:50/18:00	219	4	39	262	1.5	3.2
18:00/18:10	285	1	38	324	0.3	5.5
18:10/18:20	255	8	40	303	2.6	4.1
18:20/18:30	262	2	38	302	0.7	4.5
TOTAIS (1h)	1446	29	221	1696	1.7	4.2

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 07	LOCAL: R.Tenente Silveira, entre R. A. Paiva e R. Trajano					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	10/5/2005
BAIRRO-CENTRO:					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	64	5	18	87	5.7	3.5
17:40/17:50	75	5	15	95	5.3	3.6
17:50/18:00	90	7	20	117	6.0	3.7
18:00/18:10	82	5	14	101	5.0	3.7
18:10/18:20	85	7	28	120	5.8	3.5
18:20/18:30	98	2	25	125	1.6	3.5
TOTAIS (1h)	494	31	120	645	4.8	3.6

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 08	LOCAL: Av. Rio Branco, entre R.Alm. Alvim e R.Dom Joaquim					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	11/5/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	159	2	17	178	1.1	4.3
17:40/17:50	143	1	16	160	0.6	6.4
17:50/18:00	162	4	13	179	2.2	4.2
18:00/18:10	175	8	17	200	4.0	1.9
18:10/18:20	162	4	14	180	2.2	1.8
18:20/18:30	181	0	10	191	0.0	1.8
TOTAIS (1h)	982	19	87	1088	1.7	3.4

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 09	LOCAL: Av.Rio Branco, entre R.Othon G.Deça e R. Nereu Ramos					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	12/5/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	276	5	23	304	1.6	3.3
17:40/17:50	257	4	28	289	1.4	3.7
17:50/18:00	248	7	23	278	2.5	3.5
18:00/18:10	299	13	38	350	3.7	4.3
18:10/18:20	278	9	25	312	2.9	5.5
18:20/18:30	245	3	15	263	1.1	6.1
TOTAIS (1h)	1603	41	152	1796	2.3	4.4

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 10	LOCAL: R.Tenente Silveira, entre R.J.Coelho e R.Á. de Carvalho					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	25/05/05
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	128	8	32	168	4.8	4.1
17:40/17:50	146	4	37	187	2.1	4.3
17:50/18:00	128	7	35	170	4.1	4.1
18:00/18:10	150	8	45	203	3.9	4.2
18:10/18:20	135	4	36	175	2.3	4.3
18:20/18:30	117	12	21	150	8.0	3.3
TOTAIS (1h)	804	43	206	1053	4.1	4.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 11	LOCAL: Av. Rio Branco, entre R. Tenente Silveira e R. Padre Roma					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	19/05/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	170	3	11	184	1.6	2.2
17:40/17:50	162	2	8	172	1.2	3.7
17:50/18:00	154	2	13	169	1.2	4.0
18:00/18:10	176	2	17	195	1.0	4.7
18:10/18:20	176	4	10	190	2.1	2.8
18:20/18:30	132	0	16	148	0.0	3.0
TOTAIS (1h)	970	13	75	1058	1.2	3.4

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 12	LOCAL: Av. Othon Gama Deça, entre R. Bocaiuva e R. A. Tavares					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	31/05/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	245	11	29	285	3.9	4.1
17:40/17:50	314	9	27	350	2.6	4.8
17:50/18:00	305	11	26	342	3.2	6.6
18:00/18:10	322	10	37	369	2.7	6.5
18:10/18:20	337	10	28	375	2.7	6.5
18:20/18:30	257	8	22	287	2.8	4.1
TOTAIS (1h)	1780	59	169	2008	2.9	5.4

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 13	LOCAL: Av.Othon G. Deça, entre R. Pres.Coutinho e R.Cel. Vieira					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	1/6/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	243	12	30	285	4.2	4.5
17:40/17:50	224	11	21	256	4.3	3.6
17:50/18:00	271	7	19	297	2.4	4.3
18:00/18:10	226	10	20	256	3.9	3.8
18:10/18:20	247	6	19	272	2.2	4.2
18:20/18:30	183	13	26	222	5.9	4.3
TOTAIS (1h)	1394	59	135	1588	3.7	4.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 14	LOCAL: R. Osmar Cunha, entre R. A. Dib Mussi e R.Leoberto Leal					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	2/6/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	157	9	46	212	4.2	2.0
17:40/17:50	180	8	39	227	3.5	2.8
17:50/18:00	201	4	43	248	1.6	2.7
18:00/18:10	208	12	49	269	4.5	4.4
18:10/18:20	178	5	32	215	2.3	2.9
18:20/18:30	199	9	30	238	3.8	3.1
TOTAIS (1h)	1123	47	239	1409	3.3	3.0

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 15	LOCAL: R. Tenente Silveira, entre R. Pedro Ivo e R. Padre Roma					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	7/6/2005
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	96	1	10	107	0.9	3.2
17:40/17:50	81	3	7	91	3.3	3.2
17:50/18:00	105	9	5	119	7.6	4.9
18:00/18:10	105	1	5	111	0.9	3.5
18:10/18:20	92	2	12	106	1.9	3.4
18:20/18:30	85	2	10	97	2.1	3.1
TOTAIS (1h)	564	18	49	631	2.9	3.6

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 16	LOCAL: Av. Rio Branco, entre R. Esteves Junior e R. Luiz Trindade					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	8/6/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	336	5	39	380	1.3	6.6
17:40/17:50	280	2	29	311	0.6	5.1
17:50/18:00	336	9	32	377	2.4	6.5
18:00/18:10	329	13	29	371	3.5	6.5
18:10/18:20	270	5	26	301	1.7	4.5
18:20/18:30	283	5	34	322	1.6	5.2
TOTAIS (1h)	1834	39	189	2062	1.9	5.7

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 17	LOCAL: R.Arno Hoesch, entre R.H. Jacques e R.Almirante Lamego					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	9/6/2005
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	115	2	7	124	1.6	2.4
17:40/17:50	106	1	9	116	0.9	2.7
17:50/18:00	147	2	9	158	1.3	3.1
18:00/18:10	169	1	9	179	0.6	3.6
18:10/18:20	170	1	6	177	0.6	4.5
18:20/18:30	140	3	12	155	1.9	4.6
TOTAIS (1h)	847	10	52	909	1.1	3.5

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 18	LOCAL: R. Trompowsky, entre R. Luiz Delfino e R. Bocaiuva					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	14/06/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	102	0	8	110	0.0	3.1
17:40/17:50	114	0	6	120	0.0	3.5
17:50/18:00	118	1	4	123	0.8	3.5
18:00/18:10	112	0	7	119	0.0	3.4
18:10/18:20	109	1	11	121	0.8	3.4
18:20/18:30	107	1	7	115	0.9	3.7
TOTAIS (1h)	662	3	43	708	0.4	3.4

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 19	LOCAL: R.Vitor Konder, entre R.Rafael Bandeira e R.A. Guimarães					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	15/06/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	152	1	9	162	0.6	3.6
17:40/17:50	148	2	12	162	1.2	3.9
17:50/18:00	181	3	3	187	1.6	4.1
18:00/18:10	184	2	7	193	1.0	4.1
18:10/18:20	178	3	5	186	1.6	4.1
18:20/18:30	180	3	8	191	1.6	4.5
TOTAIS (1h)	1023	14	44	1081	1.3	4.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 20	LOCAL: R. Almirante Alvim, entre R. F. Lima e R. Pres. Coutinho					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	16/06/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	137	4	13	154	2.6	2.9
17:40/17:50	160	2	9	171	1.2	3.5
17:50/18:00	154	3	18	175	1.7	3.8
18:00/18:10	138	1	14	153	0.7	3.6
18:10/18:20	182	5	12	199	2.5	3.3
18:20/18:30	178	1	12	191	0.5	3.4
TOTAIS (1h)	949	16	78	1043	1.5	3.4

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 21	LOCAL: R.Almirante Lamego, entre T.Rufino J.Silva e T. H. Laus					
CENTRO-BAIRRO: ()					DATA:	21/06/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	113	4	14	131	3.1	3.1
17:40/17:50	140	4	4	148	2.7	3.2
17:50/18:00	135	1	5	141	0.7	3.0
18:00/18:10	120	1	9	130	0.8	3.1
18:10/18:20	107	0	9	116	0.0	3.2
18:20/18:30	155	2	12	169	1.2	3.6
TOTAIS (1h)	770	12	53	835	1.4	3.2

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 22	LOCAL: R. Bocaiuva, entre T. Carreirão e T. Harmonia					
CENTRO-BAIRRO: ()					DATA:	22/06/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	184	8	16	208	3.8	5.1
17:40/17:50	210	4	22	236	1.7	4.0
17:50/18:00	220	5	21	246	2.0	4.1
18:00/18:10	187	6	12	205	2.9	4.5
18:10/18:20	190	9	19	218	4.1	5.1
18:20/18:30	210	3	19	232	1.3	3.7
TOTAIS (1h)	1201	35	109	1345	2.6	4.4

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 23	LOCAL: R. Bocaiuva, entre R. A. Guimarães e R. Rafael Bandeira					
CENTRO-BAIRRO: ()					DATA:	23/06/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	131	5	12	148	3.4	3.5
17:40/17:50	133	6	14	153	3.9	4.5
17:50/18:00	154	5	15	174	2.9	4.8
18:00/18:10	140	3	8	151	2.0	4.2
18:10/18:20	135	5	7	147	3.4	4.1
18:20/18:30	125	4	14	143	2.8	3.6
TOTAIS (1h)	818	28	70	916	3.1	4.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 24	LOCAL: Av. Rio Branco, entre R. Felipe Schmidt e R. Arno Hoesch					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	28/06/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	99	1	7	107	0.9	3.1
17:40/17:50	149	2	13	164	1.2	3.1
17:50/18:00	149	2	9	160	1.3	3.6
18:00/18:10	163	2	13	178	1.1	3.4
18:10/18:20	158	4	19	181	2.2	3.5
18:20/18:30	126	3	10	139	2.2	3.3
TOTAIS (1h)	844	14	71	929	1.5	3.3

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 25	LOCAL: R. Duarte Schutel, entre R. A. Lamego e Av. Rio Branco					
CENTRO-BAIRRO: ()					DATA:	29/06/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	36	2	1	39	5.1	2.5
17:40/17:50	62	1	4	67	1.5	3.1
17:50/18:00	64	0	8	72	0.0	3.2
18:00/18:10	60	0	6	66	0.0	3.1
18:10/18:20	60	2	3	65	3.1	3.0
18:20/18:30	74	2	2	78	2.6	3.5
TOTAIS (1h)	356	7	24	387	1.8	3.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 26	LOCAL: R. Visc. Ouro Preto, entre R. H. Blemenau e R. J. Jacques					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	30/06/05
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	73	3	4	80	3.8	2.7
17:40/17:50	60	3	8	71	4.2	2.7
17:50/18:00	94	2	6	102	2.0	2.7
18:00/18:10	112	2	8	122	1.6	2.7
18:10/18:20	100	2	8	110	1.8	3.0
18:20/18:30	85	1	3	89	1.1	2.5
TOTAIS (1h)	524	13	37	574	2.3	2.7

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 27	LOCAL: R. Alves de Brito, entre R. G. Wendhausen e R. Luiz Delfino					
CENTRO-BAIRRO: ()					DATA:	2/8/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	23	0	0	23	0.0	2.4
17:40/17:50	30	0	1	31	0.0	2.5
17:50/18:00	21	0	3	24	0.0	2.4
18:00/18:10	27	0	2	29	0.0	2.4
18:10/18:20	15	0	3	18	0.0	2
18:20/18:30	24	0	1	25	0.0	2.5
TOTAIS (1h)	140	0	10	150	0.0	2.4

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 28	LOCAL: R. Bocaiuva com R.Esteves Junior					
CENTRO-BAIRRO: ()					DATA:	3/8/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	78	2	3	83	2.4	4.0
17:40/17:50	70	2	6	78	2.6	3.7
17:50/18:00	66	0	3	69	0.0	3.5
18:00/18:10	70	2	5	77	2.6	3.2
18:10/18:20	70	0	2	72	0.0	3.4
18:20/18:30	76	2	5	83	2.4	3.3
TOTAIS (1h)	430	8	24	462	1.7	3.5

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 29	LOCAL: R. Pres. Coutinho com T. Adelaide					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	4/8/2005
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	92	0	8	100	0.0	2.5
17:40/17:50	75	0	5	80	0.0	2.4
17:50/18:00	90	0	6	96	0.0	2.9
18:00/18:10	90	0	3	93	0.0	3.5
18:10/18:20	90	1	7	98	1.0	4.4
18:20/18:30	94	0	2	96	0.0	4.1
TOTAIS (1h)	531	1	31	563	0.2	3.3

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 30	LOCAL: R. Esteves Jr, entre R.A. Tavares e R.Antenor Mesquita					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	4/8/2005
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	3
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	63	1	1	65	1.5	3.0
17:40/17:50	63	2	9	74	2.7	3.2
17:50/18:00	71	2	8	81	2.5	3.4
18:00/18:10	95	1	4	100	1.0	3.4
18:10/18:20	111	1	5	117	0.9	3.8
18:20/18:30	93	4	7	104	3.8	3.2
TOTAIS (1h)	496	11	34	541	2.0	3.3

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 31	LOCAL: R. Durval M. Souza, com R. Coronel Melo Alvim					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	10/8/2005
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	81
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						2.4
17:45/18:00	117	5	3	125	4.0	2.6
18:00/18:15						2.7
18:15/18:30	130	4	10	144	2.8	2.9
TOTAIS (1h)	247	9	13	269	3.3	2.7

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 32	LOCAL: R. Vitor Konder, entre R. A. de Brito e L. Benjamin Constant					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	10/8/2005
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:40	216	0	4	220	0.0	3.6
17:40/17:50	210	2	5	217	0.9	3.6
17:50/18:00	171	1	7	179	0.6	3.6
18:00/18:10	254	2	11	267	0.7	5.3
18:10/18:20	232	3	11	246	1.2	4.3
18:20/18:30	212	4	7	223	1.8	4.4
TOTAIS (1h)	1295	12	45	1352	0.9	4.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 33	LOCAL: R. Crispim Mira, entre R. Urbano Salles e V. Bernadete					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	11/8/2005
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	72
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						3.2
17:45/18:00	175	1	8	184	0.5	3.3
18:00/18:15						3.2
18:15/18:30	200	2	9	211	0.9	3.6
TOTAIS (1h)	375	3	17	395	0.8	3.3

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 34	LOCAL: R. H. Blumenau, entre R.Hercílio Luz e Pç. G. Vargas					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	11/8/2005
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	81
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						1.8
17:45/18:00	175	0	17	192	0	2.2
18:00/18:15						3.3
18:15/18:30	264	5	17	286	1.7482517	3.5
TOTAIS (1h)	439	5	34	478	1.0460251	2.7

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 35	LOCAL: R. A. Bittencourt, entre R. Pedro Soares e R. Emir Rosa					
CENTRO-BAIRRO: ()					DATA:	11/0805
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	1
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						3.0
17:45/18:00	292	8	28	328	2.4	3.2
18:00/18:15						3.2
18:15/18:30	328	3	29	360	0.8	3.5
TOTAIS (1h)	620	11	57	688	1.6	3.2

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 36	LOCAL: R. Trompowsky, com R.Luiz Delfino					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	16/08/05
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	120
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						2.9
17:45/18:00	307	3	15	325	0.9	3.5
18:00/18:15						3.6
18:15/18:30	367	4	21	392	1.0	3.8
TOTAIS (1h)	674	7	36	717	1.0	3.5

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 37		LOCAL: R. Bocaiuva, entre R.Alves de Brito e T.Abílio de Oliveira				
CENTRO-BAIRRO: ()		DATA:				16/08/05
BAIRRO-CENTRO: (x)		EQUIPTO:				81
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						3.6
17:45/18:00	694	18	62	774	2.3	4.4
18:00/18:15						4.2
18:15/18:30	705	12	63	780	1.5	3.8
TOTAIS (1h)	1399	30	125	1554	1.9	4.0

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 38		LOCAL: R. A.Guimarães, entre R.G.Wendhausen e T.Stodieck				
CENTRO-BAIRRO: (x)		DATA:				16/08/05
BAIRRO-CENTRO: ()		EQUIPTO:				72
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						3.5
17:45/18:00	270	6	35	311	1.9	3.7
18:00/18:15						3.8
18:15/18:30	360	0	34	394	0.0	4.2
TOTAIS (1h)	630	6	69	705	0.9	3.8

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 39		LOCAL: R.Almirante Lamego, entre R. A. Hoesch e T. Harry Laus				
CENTRO-BAIRRO: ()		DATA:				17/08/05
BAIRRO-CENTRO: (x)		EQUIPTO:				81
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						2.7
17:45/18:00	341	3	19	363	0.8	3.1
18:00/18:15						3.2
18:15/18:30	357	7	32	396	1.8	3.5
TOTAIS (1h)	698	10	51	759	1.3	3.1

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 40	LOCAL: R. Esteves Junior, entre R. A. Dib Mussi e R. Vidal Ramos					
CENTRO-BAIRRO: ()					DATA:	17/0805
BAIRRO-CENTRO: (x)					EQUIPTO:	72
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						2.4
17:45/18:00	162	0	29	191	0.0	2.8
18:00/18:15						2.8
18:15/18:30	203	0	27	230	0.0	3.5
TOTAIS (1h)	365	0	56	421	0.0	2.9

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 41	LOCAL: R. Marechal Guilherme com R. Trajano					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	17/08/05
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	120
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						3.0
17:45/18:00	364	14	51	429	3.3	3.7
18:00/18:15						3.0
18:15/18:30	485	9	73	567	1.6	4.5
TOTAIS (1h)	849	23	124	996	2.3	3.6

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 42	LOCAL: R.dos Ilhéus, entre R.Fernando Machado e R.A. Garibaldi					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	18/08/05
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	72
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						3.1
17:45/18:00	99	9	10	118	7.6	3.2
18:00/18:15						3.2
18:15/18:30	134	13	12	159	8.2	3.5
TOTAIS (1h)	233	22	22	277	7.9	3.3

PLANILHA DE LEVANTAMENTO DE DADOS

PONTO: 43	LOCAL: R.Esteves Junior, entre R.Pres.Coutinho e R.A.Mesquita					
CENTRO-BAIRRO: (x)					DATA:	18/08/05
BAIRRO-CENTRO: ()					EQUIPTO:	120
HORÁRIO	VEÍC. LEVES (10 min)	VEÍC. PESAD. (10 min)	MOTOS (10 min)	VOLUME TOTAL (veic/10min)	VEÍC. PESAD (%)	CO (média) (ppm)
17:30/17:45						3.2
17:45/18:00	288	2	18	308	0.6	3.5
18:00/18:15						3.4
18:15/18:30	317	4	13	334	1.2	3.7
TOTAIS (1h)	605	6	31	642	0.9	3.5

ANEXO D - Legislação Ambiental (Federal, Estadual e Municipal)

Ao rever a literatura sobre direito ambiental, encontram-se várias definições, entre elas a mais citada, no aspecto doutrinário, foi elaborada por Tycho Brahe Fernandes Neto:

“DIREITO AMBIENTAL - É o conjunto de normas e princípios editados objetivando a manutenção de um perfeito equilíbrio nas relações do homem com o Meio Ambiente”.

Sobre o meio ambiente, tem-se a definição descrita no Art. 3º, Inciso I, da Lei 6.938/81 (Política Nacional do Meio Ambiente):

“MEIO AMBIENTE - Conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas”.

A Constituição Federal descreve a importância do meio ambiente no Capítulo VI, Art. 255, caput:

"Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações”.

Encontram-se legislações ambientais no âmbito federal, estadual e municipal que podem, tendo em vista a falta de legislação específica, ser utilizadas nas ações dos órgãos ambientais nas questões de meio ambiente. Em seguida, será apresentado um resumo dessas legislações com relevância para a poluição atmosférica.

LEGISLAÇÃO FEDERAL

A Política Nacional de Meio Ambiente foi definida em 1981, pela Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, considerado o marco legal do setor (regulamentada pelo Decreto 99.274/90). Foi regulada a estrutura administrativa de proteção e de planejamento ambiental - o Sistema Nacional de Meio Ambiente (SISNAMA) – que é constituído pelos órgãos e entidades da União, dos Estados, do Distrito Federal, dos Municípios e pelas Fundações instituídas pelo Poder Público, responsáveis pela proteção e melhoria da qualidade ambiental e tem a seguinte estrutura:

- I - Órgão Superior: O Conselho de Governo;
- II - Órgão Consultivo e Deliberativo: O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA;
- III - Órgão Central: O Ministério do Meio Ambiente – MMA;
- IV - Órgão Executor: O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA;
- V - Órgãos Seccionais: Os órgãos ou entidades da Administração Pública Federal direta ou indireta, as fundações instituídas pelo Poder Público cujas atividades estejam associadas à proteção da qualidade ambiental ou as de disciplinamento do uso dos recursos ambientais, bem como os órgãos e entidades estaduais responsáveis pela execução de programas e projetos e pelo controle e fiscalização de atividades capazes de provocar a degradação ambiental;
- VI - Órgãos Locais: os órgãos ou entidades municipais responsáveis pelo controle e fiscalização das atividades referidas no inciso anterior, nas suas respectivas jurisdições.

É da competência do CONAMA:

- Estabelecer, mediante proposta do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA, dos demais órgãos integrantes do SISNAMA e de Conselheiros do CONAMA, normas e critérios para o licenciamento de atividades efetiva ou potencialmente poluidoras, a ser

concedido pela União, pelos Estados, pelo Distrito Federal e Municípios e supervisionado pelo referido Instituto;

- Determinar, quando julgar necessário, a realização de estudos das alternativas e das possíveis conseqüências ambientais de projetos públicos ou privados, requisitando aos órgãos federais, estaduais e municipais, bem como às entidades privadas, informações, notadamente as indispensáveis à apreciação de Estudos Prévios de Impacto Ambiental e respectivos Relatórios, no caso de obras ou atividades de significativa degradação ambiental, em especial nas áreas consideradas patrimônio nacional;
- Determinar, mediante representação do IBAMA, a perda ou restrição de benefícios fiscais concedidos pelo Poder Público, em caráter geral ou condicional, e a perda ou suspensão de participação em linhas de financiamento em estabelecimentos oficiais de crédito;
- Estabelecer, privativamente, normas e padrões nacionais de controle da poluição causada por veículos automotores, aeronaves e embarcações, mediante audiência dos Ministérios competentes;
- Estabelecer normas, critérios e padrões relativos ao controle e à manutenção da qualidade do meio ambiente, com vistas ao uso racional dos recursos ambientais, principalmente os hídricos;
- Acompanhar a implementação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza - SNUC conforme disposto no inciso I do art. 6º da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000;
- Estabelecer sistemática de monitoramento, avaliação e cumprimento das normas ambientais;
- Recomendar ao órgão ambiental competente a elaboração do Relatório de Qualidade Ambiental, previsto no inciso X do art. 9º da Lei nº 6.938, de 1981.

O CONAMA legisla por meio de Resoluções e as reuniões do são abertas à toda a sociedade.

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

O Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (PROCONVE), foi criado pela Resolução CONAMA nº 018, de 06 de maio de 1986, com os objetivos de:

- a) reduzir os níveis de emissão de poluentes por veículos automotores visando o atendimento aos Padrões de Qualidade do Ar, especialmente nos centros urbanos;
- b) promover o desenvolvimento tecnológico nacional, tanto na engenharia automobilística, como também em métodos e equipamentos para ensaios e medições da emissão de poluentes;
- c) criar programas de inspeção e manutenção para veículos automotores em uso;
- d) promover a conscientização da população com relação à questão da poluição do ar por veículos automotores;
- e) estabelecer condições de avaliação dos resultados alcançados;
- f) promover a melhoria das características técnicas dos combustíveis líquidos, postos à disposição da frota nacional de veículos automotores, visando a redução de emissões poluidoras à atmosfera.

A Resolução CONAMA nº 05, de 15 de junho de 1989, instituiu o Programa Nacional de Controle da Poluição do Ar - PRONAR, como um dos instrumentos básicos da gestão ambiental para proteção da saúde e bem estar das populações e melhoria da qualidade de vida com o objetivo de permitir o desenvolvimento econômico e social do país de forma ambientalmente segura, pela limitação dos níveis de emissão de poluentes por fontes de poluição atmosférica com vistas a:

- a) uma melhoria na qualidade do ar;
- b) o atendimento aos padrões estabelecidos;

c) o não comprometimento da qualidade do ar em áreas consideradas não degradadas.

Através da Resolução nº 003 de 28 de junho de 1990, o CONAMA, fixou para o monóxido de carbono (TABELA D1), os padrões de qualidade do ar.

TABELA D1: Padrões nacionais e internacionais de qualidade do ar

<i>Poluente</i>	<i>Padrão</i>		<i>Tempo de exposição</i>
	<i>($\mu\text{g}/\text{m}^3$)</i>	<i>(ppm)</i>	<i>(h)</i>
CO	10.000	9	8
	40.000	35	1

Os valores máximos não devem ser excedidos mais de uma vez por ano;

1 ppm = 1145 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Fonte: CONAMA (1990)

A Resolução CONAMA nº 014, de 13 de dezembro de 1995, dispõe sobre a necessidade de se comprovar que os projetos dos veículos automotores leves mantêm as emissões de poluentes abaixo dos limites exigidos por no mínimo 80.000 km.

O expressivo crescimento da frota de ciclomotores, motocicletas e similares novos nas principais regiões metropolitanas do país fez o CONAMA estabelecer, através da Resolução nº 297, de 26 de fevereiro de 2002, os limites para emissões de gases poluentes por esses veículos, sendo que os limites futuros estão na Resolução CONAMA nº 342, de 25 de setembro de 2003, nos seguintes termos:

I - para lançamentos de novos modelos de veículos, dotados de novas configurações de motor, sistema de alimentação, transmissão e exaustão, produzidos a partir de 1º de janeiro de 2005:

a) veículos com motor de deslocamento volumétrico < 150 centímetros cúbicos:

1. monóxido de carbono: 5,5 g/km;
2. hidrocarbonetos: 1,2 g/km;
3. óxidos de nitrogênio: 0,3 g/km.

b) veículos com motor de deslocamento volumétrico \geq 150 centímetros cúbicos:

1. monóxido de carbono: 5,5 g/km;

2. hidrocarbonetos: 1,0 g/km;
3. óxidos de nitrogênio: 0,3 g/km.

Na nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE, foram estabelecidos, a partir de 01 de janeiro de 2007, os seguintes limites máximos de emissão de poluentes provenientes do escapamento dos veículos leves de passageiros (PROCONVE L-4, Resolução CONAMA nº 315/2002):

- a) monóxido de carbono (CO): 2,0 g/km;
- b) hidrocarbonetos totais (THC), somente para veículos a gás natural: 0,30 g/km;
- c) hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,16 g/km;
- d) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores do ciclo Otto: 0,25 g/km;
- e) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores do ciclo Diesel: 0,60 g/km;
- f) aldeídos (HCO), somente para motores do ciclo Otto (exceto gás natural): 0,03 g/km;
- g) material particulado (MP), somente para motores ciclo Diesel: 0,05 g/km;
- h) teor de monóxido de carbono em marcha lenta, somente para motores do ciclo Otto: 0,50% vol.

A partir de 1º de janeiro de 2009, os seguintes limites máximos de emissão de poluentes provenientes do escapamento dos veículos leves de passageiros (PROCONVE L-5):

- a) monóxido de carbono (CO): 2,0 g/km;
- b) hidrocarbonetos totais (THC), somente para veículos a gás natural: 0,30 g/km;
- c) hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,05 g/km;
- d) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores do ciclo Otto: 0,12 g/km;
- e) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores do ciclo Diesel: 0,25 g/km;
- f) aldeídos (HCO), somente para motores ciclo Otto (exceto gás natural): 0,02 g/km;
- g) material particulado (MP), somente para motores ciclo Diesel: 0,05 g /km;
- h) teor de monóxido de carbono em marcha lenta, somente para motores do ciclo Otto: 0,50% vol.

A partir de 1º de janeiro de 2007, os seguintes limites máximos de emissão de poluentes do ar para veículos leves comerciais, com massa do veículo para ensaio menor ou igual a um mil e setecentos kg (PROCONVE L-4):

- a) monóxido de carbono (CO): 2,0 g/km;
- b) hidrocarbonetos totais (THC), somente para veículos a gás natural: 0,30 g/km;
- c) hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,16 g/km;
- d) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores ciclo Otto: 0,25 g/km;
- e) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores ciclo Diesel: 0,60 g/km;
- f) aldeídos (HCO), somente para motores ciclo Otto (exceto gás natural): 0,03 g/km;
- g) material particulado (MP), somente para motores ciclo Diesel: 0,08 g /km;
- h) teor de monóxido de carbono em marcha lenta, somente para motores do ciclo Otto: 0,50% vol.

A partir de 1º de janeiro de 2009, os seguintes limites máximos de emissão de poluentes provenientes do escapamento dos veículos leves comerciais, com massa do veículo para ensaio menor ou igual a um mil e setecentos kg (PROCONVE L-5):

- a) monóxido de carbono (CO): 2,0 g/km;
- b) hidrocarbonetos totais (THC), somente para veículos a gás natural: 0,30 g/km;
- c) hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,05 g/km;
- d) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores ciclo Otto: 0,12 g/km;
- e) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores ciclo Diesel: 0,25 g/km;
- f) aldeídos (HCO), somente para motores ciclo Otto (exceto gás natural): 0,02 g/km;
- g) material particulado (MP), somente para motores ciclo Diesel: 0,05 g /km;
- h) teor de monóxido de carbono em marcha lenta, somente p/ motores do ciclo Otto: 0,50% vol.

A partir de 1º de janeiro de 2007, os seguintes limites máximos de emissão de poluentes provenientes do escapamento dos veículos leves comerciais, com massa do veículo para ensaio maior que um mil e setecentos kg (PROCONVE L-4):

- a) monóxido de carbono (CO): 2,7 g/km;
- b) hidrocarbonetos totais (THC), somente para veículos a gás natural: 0,50 g/km;
- c) hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,20 g/km;
- d) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores ciclo Otto: 0,43 g/km;

- e) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores ciclo Diesel: 1,00 g/km;
- f) aldeídos (HCO), somente para motores ciclo Otto (exceto gás natural): 0,06 g/km;
- g) material particulado (MP), somente para motores ciclo Diesel: 0,10 g/km;
- h) teor de monóxido de carbono em marcha lenta, somente para motores do ciclo Otto: 0,50 % vol.

A partir de 1º de janeiro de 2009, os seguintes limites máximos de emissão de poluentes provenientes do escapamento dos veículos leves comerciais, com massa do veículo para ensaio maior que um mil e setecentos kg (PROCONVE L-5):

- a) monóxido de carbono (CO): 2,7 g/km;
- b) hidrocarbonetos totais (THC), somente para veículos a gás natural: 0,50 g/km;
- c) hidrocarbonetos não metano (NMHC): 0,06 g/km;
- d) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores ciclo Otto: 0,25 g/km;
- e) óxidos de nitrogênio (NOx) para motores ciclo Diesel: 0,43 g/km;
- f) aldeídos (HCO), somente para motores ciclo Otto (exceto gás natural): 0,04 g/km;
- g) material particulado (MP), somente para motores ciclo Diesel: 0,06 g /km;
- h) teor de monóxido de carbono em marcha lenta, somente para motores do ciclo Otto: 0,50% vol.

PENALIDADES E SANÇÕES

A Lei nº 9.605/98 prevê as sanções penais e administrativas derivadas de lei de crimes ambientais, condutas e atividade lesivas ao meio ambiente (Lei dos Crimes Ambientais). NA Seção IV – A Lei prevê penas de reclusão de até 5 anos na Seção IV ("Da Poluição e outros Crimes Ambientais"), conforme mencionado no Art. 54: *"Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora"*.

As sanções aplicáveis à poluição e outras infrações ambientais estão no Art 41, do Decreto 3.179/99: Causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resultem

ou possam resultar em danos à saúde humana, ou que provoquem a mortandade de animais ou a destruição significativa da flora: Multa de R\$ 1.000,00 (mil reais) a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais), ou multa diária. Incorre nas mesmas multas, quem (itens selecionados do Decreto):

- Tomar uma área, urbana ou rural imprópria para ocupação humana;
- Causar poluição atmosférica que provoque a retirada, ainda que momentânea, dos habitantes das áreas afetadas, ou que cause danos diretos à saúde da população;
- Deixar de adotar, quando assim o exigir a autoridade competente, medidas de precaução em caso de risco de dano ambiental grave ou irreversível.

LEGISLAÇÃO ESTADUAL

A legislação ambiental básica do Estado de Santa Catarina é formada pela Constituição do Estado de Santa Catarina (1989), que declara em seu Art. 9º, inciso VI: “É competência do Estado, com a União e os Municípios, proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas”.

Também declara no Art. 182, inciso VIII, a incumbência do Estado em informar sistematicamente a população sobre os níveis de poluição, a qualidade do meio ambiente, a situação de riscos de acidentes e a presença de substâncias potencialmente danosas à saúde na água, no ar, no solo e nos alimentos.

A contaminação aérea, é retratada no Art. 44 da Lei nº 6. 320 de dezembro de 1983: Toda pessoa poderá lançar na atmosfera substância física, química, ou biológica, proveniente de fonte industrial, comercial, agropecuária ou correlata, veículo automotor e similares, desde que não provoque poluição ou contaminação, acima dos limites estabelecidos pela autoridade de saúde, em especial o órgão responsável pelo meio ambiente.

A Lei nº 8.245, de 18 de abril de 1991, transforma a Fundação de Amparo à Tecnologia e ao Meio Ambiente - FATMA, em Fundação do Meio Ambiente - FATMA, subordinada à Secretaria de Estado de Energia, Tecnologia e Meio Ambiente.

Em 20 de julho de 2001, foi criado, pela Lei nº 11.845, no Estado de Santa Catarina, no âmbito da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente SDM, órgão seccional do Sistema Nacional do Meio Ambiente – SISNAMA, o Programa de Inspeção de Emissões e Ruído de Veículos em Uso, de acordo com o que dispõe a Resolução 256, de 30 de junho de 1999, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

LEGISLAÇÃO MUNICIPAL

O Município de Florianópolis também adota os padrões regulamentados pela Legislação Federal, quanto às emissões de poluentes e ruídos. No entanto, a seguir serão relacionadas às Leis Municipais que se referem ao meio ambiente de forma genérica:

A Lei Orgânica do Município de Florianópolis (Resolução nº 811, de 03 de dezembro de 2002), Art. 134, incisos de VIII a XI, afirma que para assegurar a defesa e preservação do meio ambiente, incumbe ao Poder Público Municipal, em conjunto com outros Poderes, ou isoladamente:

- Garantir o amplo acesso dos interessados à informações sobre as fontes e causas da poluição e da degradação ambiental;
- Informar sistematicamente a população sobre os níveis de poluição, a qualidade do meio ambiente, as situações de risco de acidentes e a presença de substâncias potencialmente danosas à saúde na água, nos alimentos, no ar e no solo;
- Impetrar ações judiciais e instaurar processo administrativo por responsabilidade civil e criminal do proprietário e profissional responsável pela poluição ou

degradação ambiental, obrigando-os, além das sanções que sofrerem, a repararem o dano causado, vedada a concessão de incentivos fiscais ou facilidades de qualquer espécie às atividades que desrespeitarem as normas e padrões de proteção ambiental;

- Buscar a integração das universidades, centros de pesquisa, associações civis, organizações sindicais nos esforços para garantir e aprimorar o controle da poluição, inclusive no ambiente de trabalho.

A Lei nº 4565/94, Art.17, afirma que toda pessoa deve preservar o ambiente evitando por meio de suas ações ou omissões, que ele se polua e/ou contamine, se agravem a poluição ou a contaminação existente.

As penalidades, em relação à emissão de poluentes e ruídos, estão previstas nessa Lei, no Art. 38, inciso XXXIII: A pessoa comete infração de natureza sanitária e está incurso nas penas discriminadas a seguir, quando transgride normas legais e regulamentares, pertinentes ao controle da poluição das águas, do ar, do solo, sonora e das radiações. Pena: advertência, interdição temporária ou definitiva e/ou multa.

Em 21 de junho de 1995, foi instituída a Fundação Municipal do Meio Ambiente – FLORAM - que entre outras finalidades básicas está a de controlar os padrões de qualidade ambiental relativo à poluição atmosférica, hídrica, acústica e visual, e a contaminação dos solos, incluindo o monitoramento a balneabilidade das águas costeiras e de interiores (conforme Lei nº 4645/95, Art. 4º, inciso IV).

Sobre medidas antipoluentes, o Município acrescentou ao Art. 1º da Lei 3396/90, que passou a ter a seguinte redação: “As saídas dos canos de descarga dos veículos mencionados devem ser instalados do lado esquerdo da parte traseira, com altura superior ao teto” (Lei nº 3666/91).

Quanto aos níveis toleráveis das emissões de poluentes, os municípios normalmente adotam os padrões regulamentados pela Legislação Federal.